La tumultuosa evoluzione del cervello adolescente

Agosto 2015 € 4,50

Le Scienze

www.lescienze.it

edizione italiana di Scientific American

Tutta la luce del cosmo

La radiazione luminosa di tutte le galassie esistite conserva le tracce della storia dell'universo

Scienze della Terra

Sonde quantistiche per esplorare le strutture interne del pianeta

Etologia

Le sorprendenti dinamiche che regolano le reti sociali degli animali

POSTE ITALIANE SPED. IN A.P. - D.L. 353/2003 CONV. L. 46/2004, ART. 1, C. 1, DCB - ROMA RIVISTA MENSILE - NUMERO 564

9 770036 808000 50564

PER NOI NESSUNO VALE COME UN CLIENTE BMW.

SCOPRITE I SERVIZI DI VALORE CHE VI ABBIAMO RISERVATO.

Abbiamo particolarmente a cuore chi guida una BMW. Per questo abbiamo creato **Servizio di Valore BMW**, l'insieme degli interventi di manutenzione ordinaria e straordinaria dedicati alle BMW che hanno già percorso molta strada. L'utilizzo esclusivo di Ricambi Originali BMW e il personale specializzato BMW Service vi garantiranno un **servizio di altissimo valore a condizioni vantaggiose e trasparenti.** Perché per noi, ogni membro della famiglia BMW è speciale come nessun altro.

Alcuni esempi di interventi:

OIL SERVICE

Cambio olio motore e filtro olio.

BMW Serie 1 - 120d	**€ 170,00**
BMW Serie 3 - 320d	**€ 175,00**
BMW Serie 5 - 530d	**€ 235,00**
BMW X1 - 20d	**€ 170,00**
BMW X3 - 20d	**€ 195,00**
BMW X5 - 30d	**€ 220,00**
BMW X6 - 35d	**€ 220,00**

PASTIGLIE FRENO ANTERIORI

Pastiglie freno e sensore dell'usura.

BMW Serie 1 - 120d	**€ 120,00**
BMW Serie 3 - 320d	**€ 130,00**
BMW Serie 5 - 530d	**€ 140,00**
BMW X1 - 20d	**€ 150,00**
BMW X3 - 20d	**€ 100,00**
BMW X5 - 30d	**€ 240,00**
BMW X6 - 35d	**€ 250,00**

CINGHIA CLIMA/ ALTERNATORE

BMW Serie 1 - 120d	**€ 70,00**
BMW Serie 3 - 320d	**€ 70,00**
BMW Serie 5 - 530d	**€ 130,00**
BMW X1 - 20d	**€ 110,00**
BMW X3 - 20d	**€ 110,00**
BMW X5 - 30d	**€ 170,00**
BMW X6 - 35d	**€ 180,00**

SCOPRITE SERVIZIO DI VALORE BMW SU **BMW.IT/SERVIZIODIVALORE** E NEL CENTRO BMW SERVICE A VOI PIÙ VICINO.

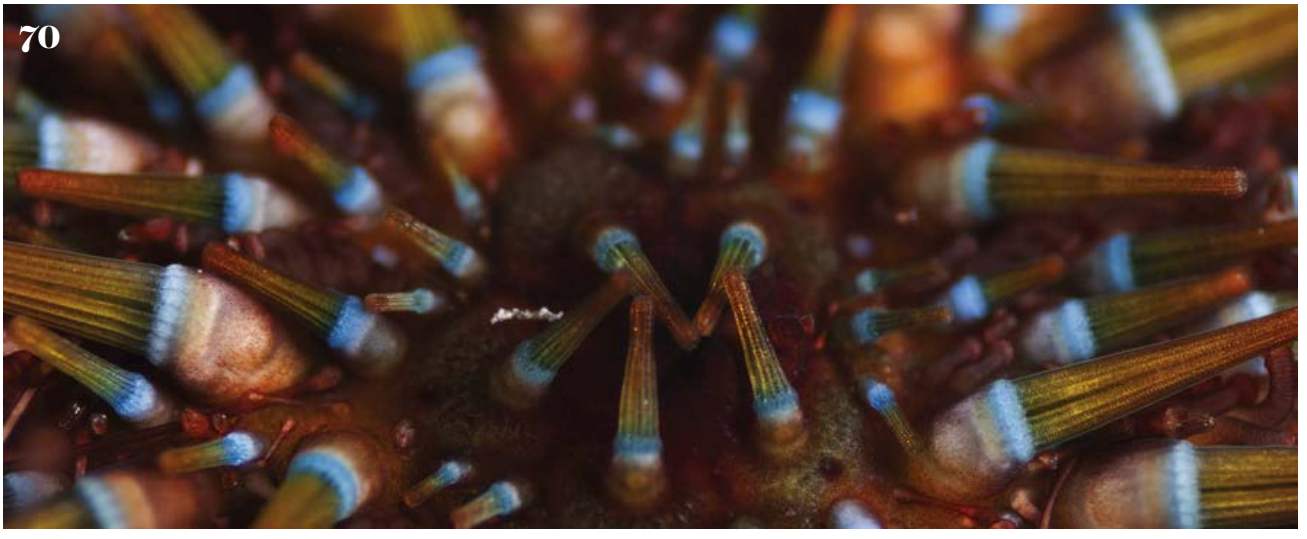
Servizio di Valore BMW è riservato ai possessori di BMW Serie 1 (E81/E82/E87/E88), BMW Serie 3 (E90/E91/E92/E93), BMW Serie 5 (E60/E61), BMW X3 (E83), BMW X5 (E70), BMW X6 (E71) e BMW X1 (E84) immatricolate entro il 31/12/2011. Sono esclusi i modelli M e le versioni speciali. L'offerta è valida fino al 30/11/2015 presso tutti i Centri BMW Service.
Tutti i prezzi indicati includono Ricambi Originali BMW, manodopera e IVA.

IN COPERTINA

Il cielo notturno è scuro, ma in realtà lo spazio è pervaso dai fotoni emessi da tutte le galassie formatesi nella storia dell'universo. Ora gli scienziati iniziano a studiare questa luce di fondo extragalattica. (Immagine: Caleb Charland)

Sommario

agosto 2015 numero 564



ASTRONOMIA

32 Tutta la luce di tutti i tempi

di Alberto Domínguez, Joel R. Primack e Trudy E. Bell

Galassie in ogni angolo del cosmo emettono fotoni fin dalla nascita del tempo. Ora gli astronomi iniziano a decifrare questa luce di fondo extragalattica

MEDICINA

38 Cellule in fiamme

di Wajahat Z. Mehal

Una struttura cellulare scoperta di recente è alla base del processo di infiammazione e potrebbe portare a nuove cure per malattie diverse tra loro, dall'aterosclerosi alla malattia di Alzheimer al fegato grasso

ETOLOGIA

44 Animali in rete

di Lee Alan Dugatkin e Matthew Hasenjager

In un'ampia varietà di specie, le amicizie che si stabiliscono fra un esemplare e l'altro influiscono fortemente sul comportamento dei singoli e dei gruppi

NEUROSCIENZE

50 Le meraviglie del cervello adolescente

di Jay N. Giedd

Un disallineamento tra la maturazione delle reti neurali determina la propensione al rischio degli adolescenti, ma permette anche salti in avanti nella cognizione e nell'adattabilità

SCIENZE DELLA TERRA

56 Penetrare i misteri della Terra

di Gianpaolo Bellini, Paolo Strolin e Hiroyuki K.M. Tanaka

Misteri irrisolti del nostro pianeta potranno essere indagati grazie a particelle elementari sfruttate come sonde quantistiche per le profondità terrestri

SALUTE PUBBLICA

64 Il nemico della dengue

di Scott O'Neill

Gli scienziati immunizzano le zanzare contro questa malattia grazie all'aiuto di un batterio piuttosto diffuso

STORIA DELLA SCIENZA

70 Ricci, geni ed epigenetica. Una storia (non solo) napoletana

di Rossella Costa e Mauro Capocci

Cinquant'anni fa l'italiano Eduardo Scarano osservò, tra i primi al mondo, un meccanismo epigenetico, ma i tempi non erano maturi per capire il significato del fenomeno

OSSERVAZIONE DELLA TERRA

76 Una spia nella notte

di Steven D. Miller

Un sensore satellitare in grado di vedere nell'oscurità rivela nuove informazioni utili a meteorologi, vigili del fuoco, squadre di soccorso e a un'infinità di ricercatori

ESPLORAZIONE SPAZIALE

80 Nascita di un razzo

di David H. Freedman

Lo Space Launch System della NASA è una cattedrale nel deserto o la nostra migliore possibilità di arrivare nello spazio profondo?

SCIENZE FORENSI

90 Il mistero del caso 0425

di Ananda Rose

Gli scienziati identificano i resti di migranti senza documenti morti nell'attraversamento del confine tra Messico e Stati Uniti, i cui nomi altrimenti resterebbero ignoti per sempre

Angel Fitor/SPL/Contrasto

Sommario

16

21

105

Rubriche

7 **Editoriale**
di Marco Cattaneo

8 **Anteprima**

10 **Lavori in corso**

12 **Intervista**
L'Etna nella storia e nella scienza *di Jacopo Pasotti*

14 **Made in Italy**
Geni e cellule contro le malattie *di Letizia Gabaglio*

16 **EXPOsed. L'Expo messa a nudo**
Non c'è più il futuro di una volta *di Beatrice Mautino*

18 **Scienza e filosofia**
Un'acciuga dell'Eocene *di Telmo Pievani*

19 **Appunti di laboratorio**
La vita secondo Dawkins, rivisitata *di Edoardo Boncinelli*

20 **Il matematico impertinente**
Il principio di Anna Karenina *di Piergiorgio Odifreddi*

21 **La finestra di Keplero**
Il futuro al buio dell'universo *di Amedeo Balbi*

22 **Homo sapiens**
Incontri ravvicinati *di Giorgio Manzi*

97 **Coordinate**
La vera dimensione dell'Africa *di Mark Fischetti*

98 **Rudi matematici**
Dare i numeri per strada
di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

100 **Libri & tempo libero**

104 **Povera scienza**
La schiuma da barba di Occam *di Paolo Attivissimo*

105 **Pentole & provette**
I genitori di aranci e limoni *di Dario Bressanini*

SCIENZA NEWS

23 Nessuna pausa nel riscaldamento
24 Venere che non ti aspetti
24 Il rumore dello spazio-tempo
24 Marte, l'acqua c'era e forse ci sarà ancora
25 Dal firewall alla fuzzball
25 Divoratori di materia oscura
26 Genomi uguali, epigenomi diversi
26 Più alti e più svegli con genitori poco affini
27 Più elettricità in un mondo più caldo
28 I batteri che ridisegnano l'albero della vita
28 L'età del Bronzo da una prospettiva genomica
30 Brevissime

Josef Beck/imageBROKER/Corbis (*in alto*); Cortesia ESA/Hubble & NASA (*al centro*); Denis Debadier/Photononstop/Corbis (*in basso*)

LOWE PIRELLA

METTI IN VALIGIA LE BUONE ABITUDINI, COME LA RACCOLTA DIFFERENZIATA DEGLI IMBALLAGGI IN PLASTICA.

Fare la raccolta differenziata è semplice come bere un bicchiere d'acqua d'estate. Un gesto quotidiano che porta beneficio a tutti. Infatti, se raccogli in modo differenziato i tuoi imballaggi in plastica puoi contribuire al risparmio di risorse naturali e di energia creando così nuove opportunità per l'economia. E in più aiuti COREPLA a dare nuova vita alla plastica. La raccolta differenziata, un'abitudine che non va mai in vacanza.

LA PLASTICA. TROPPO PREZIOSA PER DIVENTARE UN RIFIUTO.

Con il patrocinio del

MINISTERO DELL'AMBIENTE E DELLA TUTELA DEL TERRITORIO E DEL MARE

COREPLA

Corepla è il consorzio senza scopo di lucro per il riciclo e il recupero degli imballaggi in plastica

Per saperne di più: | | | corepla.it

M&CSAATCHI

PUOI STUDIARE I MERCATI TUTTI I GIORNI O SCEGLIERE LA SELEZIONE DI FONDI ING DIRECT.

INVESTIMENTI ARANCIO.

Prodotti a rendimento predefinito, **Fondi bilanciati** e **Fondi obbligazionari** e **azionari** che pagano dividendi annuali.
E per te un **esperto** a disposizione online o in filiale.

ingdirect.it | App | Filiali aperte fino alle 19

ING DIRECT

Messaggio pubblicitario. Per consultare il KIID, il prospetto e i fogli informativi, la documentazione contrattuale e il documento informativo MiFID chiama, collegati o vieni in filiale.

di Marco Cattaneo

Sempre più lontano?

Che cosa ci insegna la missione New Horizons

Non più tardi di una settimana fa la sonda New Horizons della NASA ha raggiunto Plutone, il pianeta più lontano del sistema solare. (Non me ne vogliano i planetologi e gli appassionati di tassonomia celeste, ma sono affezionato a quel nono pianeta di cui ci parlavano alle scuole elementari.)

Tra l'entusiasmo generale e qualche colorita manifestazione di scetticismo a proposito dell'opportunità di spendere tanto denaro per fare visita a una pietra surgelata a cinque miliardi di chilometri da casa, per ora New Horizons ci ha spedito solo qualche suggestiva foto, ma pur sempre abbastanza per restare affascinati dall'inattesa attività di quel mondo lontano e delle sue lune. In realtà New Horizons è costata 730 milioni di dollari. Quanto una settimana di guerra in Afghanistan, secondo l'Ufficio ricerche del Congresso. O poco meno di cinque F-35, i discussi aerei militari costruiti dalla Lockheed Martin di cui l'Italia dovrebbe acquistare 90 esemplari.

La piccola delusione, in verità, è che per il momento il nostro viaggio nello spazio si ferma qui. Con la tecnologia di New Horizons ci sono voluti quasi dieci anni per raggiungere Plutone. Alla stessa velocità, per raggiungere la stella più vicina, Proxima Centauri, ci vorrebbero 70.000 anni, più tempo di quanto ne è trascorso da quando *Homo sapiens* è migrato dall'Africa. Il che dà un'idea delle sterminate dimensioni dello spazio interstellare, e di quanto siamo distanti – per ora – dalla speranza di poterci spingere un po' più in là nell'esplorazione del nostro vicinato galattico.

La buona notizia invece è che in pochi decenni (un batter di ciglia, sulla scala dei tempi cosmici) una civiltà tecnologicamente giovane, come è la nostra, è riuscita a dare un'occhiata a tutti gli oggetti più vistosi del sistema solare, curiosando qua e là e riuscendo a farsi un'idea di come si siano formati i pianeti, a cominciare dal nostro.

E, soprattutto, che non abbiamo nessuna intenzione di fermarci qui. La NASA, per esempio, dopo la cancellazione del programma Constellation, il successore degli shuttle, ha avviato un nuovo piano per un razzo in grado di portare equipaggio e carico nello spazio profondo, lo Space Launch System. Anche in questo caso tra entusiasmi e polemiche, come racconta David Freedman a pagina 80, SLS dovrebbe intraprendere il primo volo nel 2018. E forse, da qui a un quarto di secolo, sarà proprio questo controverso razzo basato su componenti dei vecchi space shuttle a portare il primo equipaggio umano su Marte. Nel frattempo dovrebbe riportarci sulla Luna e farci attraccare su un asteroide, o forse spedire una sonda robotica a cercare tracce di vita su Europa, il satellite di Giove.

NASA/APL/SwRI

A volte, pensando alla crescente complessità delle nostre imprese tecnologiche, sono tentato di credere che presto arriveremo al limite delle nostre capacità. Vuoi per gli ingenti investimenti economici, vuoi per le difficoltà intrinseche di costruire macchine sempre più sofisticate. Poi mi viene in mente che quando è nato mio nonno, nel 1902, i fratelli Wright stavano ancora armeggiando in un'officina senza successo. E allora mi passa la voglia di mettere limiti alla nostra immaginazione.

Comitato scientifico

Leslie C. Aiello
presidente, Wenner-Gren Foundation for Anthropological Research

Roberto Battiston
professore ordinario di fisica sperimentale, Università di Trento

Roger Bingham
docente, Center for Brain and Cognition, Università della California a San Diego

Edoardo Boncinelli
docente, Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

Arthur Caplan
docente di bioetica, Università della Pennsylvania

George M. Church
direttore, Center for Computational Genetics, Harvard Medical School

Rita Colwell
docente, Università del Maryland a College Park e Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health

Drew Endy
docente di bioingegneria, Stanford University

Ed Felten
direttore, Center for Information Technology Policy, Princeton University

Michael S. Gazzaniga
direttore, Sage Center for the Study of Mind, Università della California a Santa Barbara

David Gross
docente di fisica teorica, Università della California a Santa Barbara (premio Nobel per la fisica 2004)

Daniel M. Kammen
direttore, Renewable and Appropriate Energy Laboratory, Università della California a Berkeley

Christof Koch
docente di biologia cognitiva e comportamentale, California Institute of Technology

Lawrence M. Krauss
direttore, Origins Initiative, Arizona State University

Morten L. Kringelbach
direttore, Hedonia: TrygFonden Research Group, Università di Oxford e Università di Aarhus

Steven Kyle
docente di economia applicata e management, Cornell University

Robert S. Langer
docente, Massachusetts Institute of Technology

Ernest J. Moniz
docente, Massachusetts Institute of Technology

John P. Moore
docente di microbiologia e immunologia, Weill Medical College, Cornell University

M. Granger Morgan
docente, Carnegie Mellon University

Miguel Nicolelis
condirettore, Center for Neuroengineering, Duke University

Martin Nowak
direttore, Program for Evolutionary Dynamics, Harvard University

Robert Palazzo
docente di biologia, Rensselaer Polytechnic Institute

Telmo Pievani
professore associato filosofia delle scienze biologiche, Università degli Studi di Padova

Carolyn Porco
leader, Cassini Imaging Science Team, e direttore, CICLOPS, Space Science Institute

Vilayanur S. Ramachandran
direttore, Center for Brain and Cognition, Università della California a San Diego

Lisa Randall
docente di fisica, Harvard University

Carlo Alberto Redi
docente di zoologia, Università di Pavia

Martin Rees
docente di cosmologia e astrofisica, Università di Cambridge

John Reganold
docente di scienza del suolo, Washington State University

Jeffrey D. Sachs
direttore, The Earth Institute, Columbia University

Terry Sejnowski
docente e direttore del Laboratorio di neurobiologia computazionale, Salk Institute for Biological Studies

Michael Snyder
docente di genetica, Stanford University School of Medicine

Giorgio Vallortigara
docente di neuroscienze, direttore associato, Centre for Mind/Brain Sciences, Università di Trento

Lene Vestergaard Hau
docente di fisica e fisica applicata, Harvard University

Michael E. Webber
direttore associato, Center for International Energy & Environmental Policy, Università del Texas ad Austin

Steven Weinberg
direttore, gruppo di ricerca teorica, Dipartimento di fisica, University del Texas ad Austin (premio Nobel per la fisica 1979)

George M. Whitesides
docente di chimica e biochimica, Harvard University

Nathan Wolfe
direttore, Global Viral Forecasting Initiative

Anton Zeilinger
docente di ottica quantistica, Università di Vienna

I neuroni dei teenager

Il cervello adolescente, di Laurence Steinberg, è il libro allegato a settembre

L'adolescenza è un'età difficile per definizione. Lo stereotipo vuole che gli adolescente facciano cose stupide, amino rischiare fino a spezzarsi le ossa del collo o magari sconfinare nel codice penale solo perché hanno un cervello immaturo, o peggio, che funziona male. Negli ultimi anni però studi di neuroscienze, scienze sociali e scienze comportamentali hanno inesorabilmente smontato questa visione, restituendo dignità a un'età che i più grandi trovano incomprensibile, al punto di prendere loro stessi decisioni contraddittorie riguardo agli adolescenti.

Per esempio, negli Stati Uniti non è permesso bere alcolici prima di 21 anni perché, si dice, al di sotto di quella età si è troppo immaturi per gestire bevande contenenti alcool. Allo stesso tempo però si ritiene i diciottenni maturi al punto di farli partecipare con il voto alla vita politica del paese e autorizzarli a guidare un'automobile, in alcuni casi anche a 16 anni, mentre non sono poi così maturi per certi film, la cui visione per loro è vietata, se non accompagnati e minori di 17 anni. In effetti, a ben vedere queste sì che sono scelte incomprensibili, soprattutto agli occhi dei giovani.

In futuro le cose potrebbero cambiare. A condizione però che il mondo degli adulti – decisori politici, responsabili di istituzioni, genitori – inizi a tenere in considerazione quello che la scienza oggi sa riguardo al cervello adolescenziale, che non è poco, come spiega Laurence Steinberg in *Il cervello adolescente*, libro allegato a richiesta con «Le Scienze» di settembre e in vendita nelle librerie per Codice Edizioni.

Lo sguardo di Steinberg è duplice, da una parte osserva gli adolescenti come psicologo dello sviluppo, dall'altro come padre di un adolescente. Oggi, spiega Steinberg, è ormai attestato che ci sono cambiamenti sostanziali e sistematici nel funzionamento del cervello nel periodo che va dalla pubertà a poco più dei vent'anni di età, come oggi viene definita l'età adolescenziale. Questi cambiamenti non implicano che il cervello degli adolescenti è difettoso, ma che è ancora in fase di sviluppo. Siamo quindi ben lontani dagli ormoni in subbuglio, lo stereotipo per eccellenza con cui si motivano comportamenti incomprensibili per gli adulti.

Volendo schematizzare, dalla pubertà ai vent'anni si passa per l'attivazione del sistema limbico – un complesso di strutture cerebrali coinvolte nell'integrazione emotiva, istintiva e comportamentale – e per un'elevata plasticità della corteccia prefrontale, ovvero per un'accentuata flessibilità e ridefinizione delle connessioni tra i neuroni che compongono questa area del cervello, coinvolta nell'autocontrollo. Il conflitto tra le attività di sistema limbico e corteccia prefrontale fa emergere comportamenti che gli adulti reputano incomprensibili.

Non c'è nulla di patologico in tutto questo. C'è invece una grande dinamicità. Gli adolescenti usano il sistema di autocontrollo ma ancora non hanno la giusta sensibilità per sfruttarlo a dovere, una lacuna che è anche una grande opportunità per plasmare al meglio gli adulti di domani. Queste conoscenze delle neuroscienze dovrebbero avere ricadute nel rapporto tra adolescenti e società, che va dalla famiglia alla scuola alle altre istituzioni. In ciascuno di questi contesti sarebbe utile implementare strategie che coltivino questa tendenza all'autocontrollo, alla consapevolezza del sé: dovremmo cercare di sviluppare negli adolescenti strumenti cognitivi e non (per esempio determinazione e perseveranza) che accompagnino questa età di costruzione.

L'autoritarismo non serve a nulla, ma è necessario essere autorevoli, presenti e supervisori. La natura poi farà il suo corso. In fondo chi di noi da adolescente non ha fatto qualche pazzia?

RISERVATO AGLI ABBONATI

Gli abbonati possono acquistare i volumi di **La Biblioteca delle Scienze** al prezzo di € 7,90 incluso il prezzo di spedizione e telefonando al numero 199.78.72.78 (0864.256266 chi chiama da telefoni non abilitati).

La stessa offerta è valida per acquistare i volumi della collana **I grandi della scienza** nella nuova edizione al prezzo di € 6,90 incluso il prezzo di spedizione.
Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,37 cent di euro al minuto più 6,24 cent di euro di scatto alla risposta (IVA inclusa). Per chiamate da rete mobile il costo massimo della chiamata è di 48,4 cent di euro al minuto più 15,62 cent di euro di scatto alla risposta (IVA inclusa).

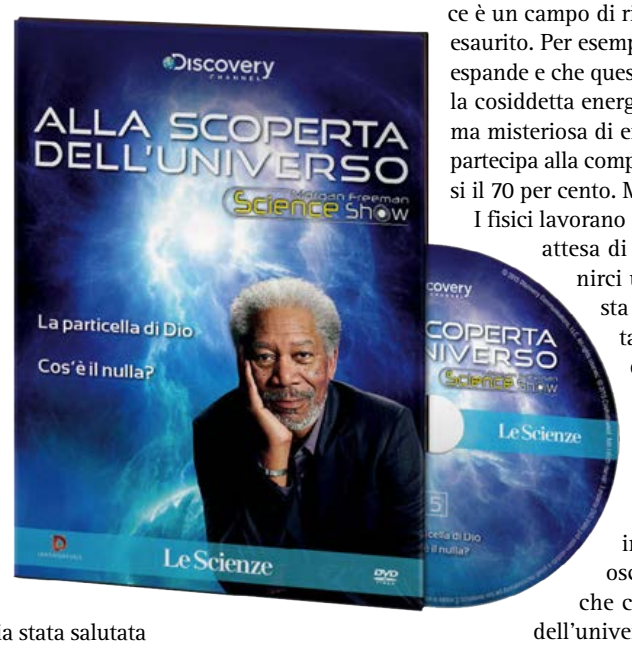
Robert Niedring/Corbis

Dall'Higgs all'energia oscura

A richiesta ad agosto il quinto DVD della collana *Morgan Freeman Science Show*

A luglio 2012 gli scienziati del CERN di Ginevra hanno annunciato la scoperta del bosone di Higgs, la particella elementare responsabile della massa delle altre particelle elementari che compongono la materia. È stata una delle scoperte più importanti della scienza, a cui è dedicata la prima parte del quinto DVD della collana *Morgan Freeman Science Show. Alla scoperta dell'universo*, in edicola ad agosto a soli 8,90 euro oltre al prezzo della rivista.

La caccia al bosone che è conosciuto anche come «particella di Dio» e che porta il nome del fisico britannico Peter Higgs, tra i primi a teorizzarlo a metà degli anni sessanta, è stata lunga e frustrante. Per rilevarlo è stata necessaria la costruzione del Large Hadron Collider, l'acceleratore di particelle più potente del mondo, un anello sotterraneo di 27 chilometri costruito tra Francia e Svizzera. Il bosone di Higgs è un tassello fondamentale del cosiddetto modello standard, che descrive l'universo in termini di particelle elementari e le loro interazioni attraverso le forze fondamentali della natura, e con la scoperta della particella di Dio si poteva pensare che la fisica del mondo subatomico avesse poco altro da dire, ma non è così.



Sebbene la rilevazione dell'Higgs sia stata salutata come una delle scoperte più importanti della scienza, alcuni ambiti della fisica teorica ipotizzano che potrebbero esserci più bosoni di Higgs. O che il bosone di Higgs identificato al CERN non sia il bosone che i fisici cercavano. Certo, a sua volta anche la scoperta di tre anni fa ha confermato alla perfezione previsioni teoriche, ma il lavoro degli scienziati non si ferma mai. Ogni nuovo traguardo è salutato non come un punto di arrivo, ma come l'ingresso in un territorio ancora da esplorare. Le proposte alternative all'Higgs, quindi, non vanno prese come inutili provocazioni, ma come la spinta a saperne sempre di più. In effetti, al CERN non stanno con le mani in mano, e dopo aver scovato il bosone LHC cercherà rispondere ad altri quesiti irrisolti, per esempio tenterà di fare luce sulla teoria della supersimmetria, secondo cui a ogni particella corrisponderebbe una particella partner più pesante.

La seconda parte del DVD è dedicata al vuoto, un concetto che affascinava e intimoriva già i filosofi dell'antica Grecia. Oggi quello che per la stragrande maggioranza delle persone può sembrare uno spazio che non contiene nulla, per gli scienziati invece è un campo di ricerca fecondo e niente affatto esaurito. Per esempio, sappiamo che l'universo si espande e che questa espansione è accelerata dalla cosiddetta energia oscura. Si tratta di una forma misteriosa di energia, che permea lo spazio e partecipa alla composizione dell'universo per quasi il 70 per cento. Ma non sappiamo molto di più.

I fisici lavorano a ipotesi sull'energia oscura, in attesa di esperimenti che possano fornirci ulteriori informazioni su questa energia che, in un futuro lontano, potrebbe segnare il destino dell'universo distruggendolo, un po' come un tessuto strappato tirandolo da tutti i lati.

Sempre volgendo lo sguardo allo spazio, le sue vastità buie e in apparenza vuote in realtà sono ricche di materia oscura. Questa forma di materia, che compone circa il 27 per cento dell'universo, non interagisce con la radiazione elettromagnetica e ne conosciamo l'esistenza solo grazie alla sua interazione gravitazionale con la materia ordinaria.

Ancora non conosciamo quali particelle compongono la materia oscura, ci sono però ipotesi che potranno essere testate sulla Terra, sempre all'LHC. Studiando le collisioni che avvengono nell'acceleratore forse troveremo qualcosa sui mattoni fondamentali di questa forma di materia. Magari in attesa di rilevare onde gravitazionali, cioè deformazioni del tessuto dello spazio-tempo, che attraversano il presunto vuoto cosmico e che potrebbero aprirci la porta sull'universo prima del big bang.

PIANO DELL'OPERA

1 Cosa è successo prima del Big Bang?
Siamo soli nell'Universo?

2 Si può viaggiare nel tempo?
Come siamo arrivati fin qui?

3 Di cosa siamo fatti?
L'enigma dei Buchi Neri

4 Oltre la materia oscura
Esiste un Creatore?

5 La particella di Dio
Cos'è il nulla?

6 Tempo e spazio infiniti?
Sopravvivremo alla fine del Sole?

a cura di Giovanni Spataro

L'oscillazione che mancava

L'esperimento OPERA ha scoperto la trasformazione di neutrini mu in neutrini tau

I neutrini, particelle elementari sfuggenti, possono essere di tre tipi, o sapori, indicati rispettivamente come elettronici, mu e tau. Già negli anni sessanta il fisico italiano Bruno Pontecorvo aveva ipotizzato che neutrini di un sapore potessero trasformarsi, od oscillare, in un sapore diverso. Questo fenomeno è stato poi osservato per diverse trasformazioni, a cui ora si aggiunge l'oscillazione di neutrini mu in neutrini tau (si veda *L'ago nel pagliaio* in «Le Scienze» n. 509, gennaio 2011) scoperta dall'esperimento OPERA ai Laboratori nazionali del Gran Sasso dell'INFN. In realtà OPERA aveva già rilevato eventi del genere, quattro per la precisione, nel fascio di neutrini mu che dal CERN di Ginevra arrivava in Abruzzo dopo aver percorso 730 chilometri nel sottosuolo. Ma per la significatività statistica mancava ancora un evento, il quinto neutrino tau, ora rilevato nei dati raccolti tra il 2008 e il 2012.

Uovo o spermatozoo?

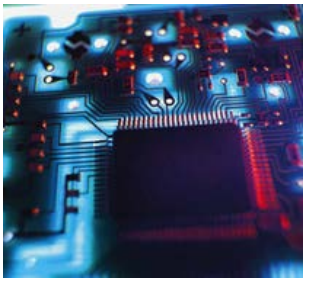
Modello per gameti. Nel pesce del riso lo sviluppo delle cellule germinali in ovuli e spermatozoi dipende da un gene.

Il destino delle cellule germinali, cioè le cellule precorritrici di ovociti e spermatozoi, è tutto in un gene, per lo meno nel caso di un pesce studiato da ricercatori giapponesi. Il gene in questione è *foxl3* e nel pesce del riso (*Oryzias latipes*) è espresso nelle cellule germinali ma non nelle cellule adulte che compongono le gonadi. Nelle femmine di *O. latipes*, l'attività di *foxl3* previene la formazione dello sperma, quindi, si sono chiesti Toshya Nishimura del National Institute for Basic Biology di Okazaki e colleghi, che cosa succederebbe silenziando il gene con tecniche di ingegneria genetica?

Come risultato, pubblicato su «Science», gli scienziati giapponesi hanno ottenuto una produzione di spermatozoi funzionali, che hanno usato per fecondare con successo ovuli del pesce del riso. Un meccanismo del genere potrebbe essere all'opera anche in altri vertebrati, inoltre il risultato di Nishimura suggerisce che le cellule germinali non devono trovarsi nell'ambiente dell'organo riproduttivo maschile per diventare spermatozoi. Questi due scenari potrebbero avere interessanti cadute per le tecniche che cercano di riprodurre gameti umani *in vitro* (si veda *Gameti artificiali* in «Le Scienze» n. 562, giugno 2015).

Il memcomputer è finalmente tra noi

Dopo anni di attesa, il memcomputer è diventato realtà. L'architettura di questo calcolatore è basata su unità di base, chiamate memprocessori, che memorizzano e al tempo stesso elaborano l'informazione, in modo simile al cervello, che acquisisce ed elabora informazioni solo con neuroni, quindi con le stesse piattaforme fisiche (si veda *Un po' più di memoria* in «Le Scienze» n. 560, aprile 2015). È un'innovazione cruciale rispetto alla tecnologia attuale, se si considera che l'architettura dei computer che



Per ora. I microprocessori dei computer attuali in futuro potrebbero essere sostituti da quelli dei memcomputer.

usiamo ogni giorno è basata su componenti che svolgono compiti specifici e separati, per esempio la RAM memorizza dati e la CPU li elabora, quindi piattaforme fisiche diverse, che rallentano l'esecuzione.

Il prototipo di memcomputer è stato presentato su «Science Advances» dagli italiani Massimiliano di Ventra, dell'Università della California a San Diego, e Fabio Traversa, del Politecnico di Torino. Questo calcolatore è stato in grado di risolvere problemi teorici di particolare difficoltà, conosciuti come problemi NP-completi, ed è stato realizzato con unità di microelettronica standard. Il prototipo, quindi, potrà essere replicato in qualunque laboratorio.

Povertà cognitiva

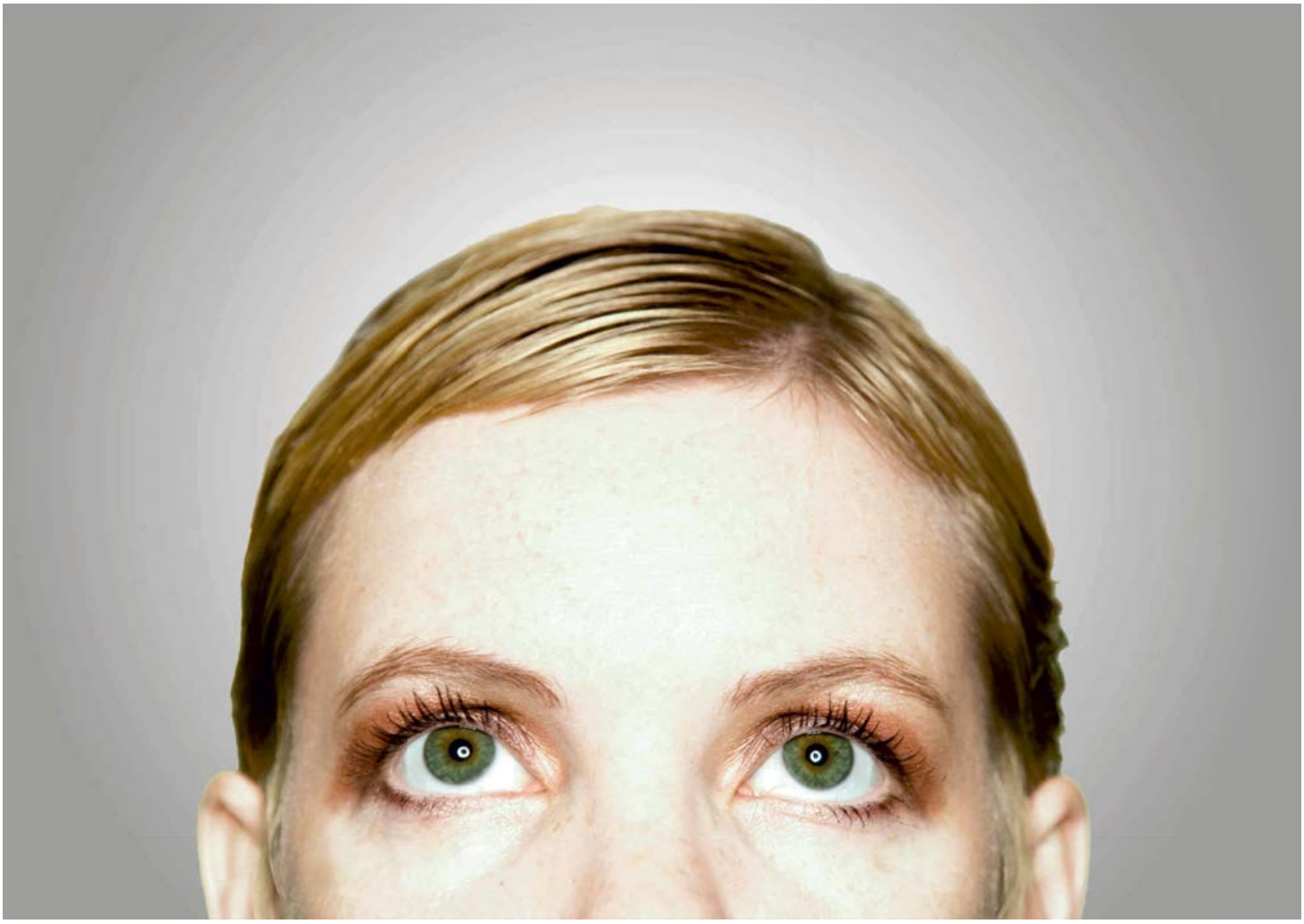
È ormai acclarato che la povertà fa male alla saluta. Addirittura lungo la scala dello status socioeconomico il rischio di malattie varia fino a dieci volte, per esempio riguardo a patologie cardiovascolari, depressione e diabete (si veda *Ammalarsi di povertà* in «Le Scienze» n. 450, febbraio 2006). Tutta colpa dello stress provocato da una vita di stenti, che ha un impatto anche sulle capacità cognitive dei più piccoli, come hanno dimostrato Jennifer H. Suor, dell'Università di Rochester, e colleghi su «Child Development».

Lo studio ha seguito per tre anni bambini statunitensi figli di madri con basso reddito. In questo arco di tempo Suor e colleghi hanno misurato i livello di stress dei piccoli in base ai livelli di cortisolo, un ormone la cui produzione aumenta al crescere dello stress psico-fisico, e hanno anche valutato le condizioni ambientali in cui si sono trovati i bambini. Poi alla fine dei tre anni, i ricercatori hanno stimato le abilità cognitive dei bambini. In questo modo hanno osservato una correlazione tra alti livelli di stress, quindi di cortisolo, avversità familiari e basse capacità cognitive dei piccoli seguiti.

Cortesia S.Schiavon/INFN (*esperimento OPERA*); Seotaro/Wikimedia (*pesce del riso*); Rafe Swan/Corbis (*scheda circuiti*)

AcademiaNet

Expert Database of Outstanding Female Academics



AcademiaNet is a unique service for research facilities, journalists and conference organisers searching for outstanding female academics with boardroom experience and management skills on top of their excellent qualifications.

AcademiaNet, the European expert database of outstanding female scientists, offers:

:: Profiles of highly qualified female researchers from every discipline – nominated by renowned scientific organisations and industry associations
:: Customised search options according to discipline and area of expertise
:: Current news about »Women in Science«

Robert Bosch Stiftung

Spektrum der Wissenschaft

nature

An initiative of the Robert Bosch Stiftung in cooperation with Spektrum der Wissenschaft and Nature Publishing Group

www.academia-net.org

di Jacopo Pasotti

L'Etna nella storia e nella scienza

Uno studio storico-scientifico ha prodotto un catalogo delle eruzioni dall'antichità alla fine del Seicento che ha un'utilità attuale, come spiega Emanuela Guidoboni

L'Etna è un vulcano famoso, e non solo per una ristretta nicchia di vulcanologi e geologi. È stato analizzato sotto ogni suo aspetto, ritratto da ogni angolo, descritto da ogni popolazione che nel corso della storia, per invadere o per far commercio, è approdata lungo le coste siciliane. Possibile allora che l'Etna abbia ancora qualche storia da raccontare alla comunità scientifica? Sembra di sì; ora infatti gli accademici hanno a disposizione un nuovo catalogo delle eruzioni, dall'antichità alla fine del Seicento. È il frutto di uno studio storico-scientifico da cui emergono eventi eruttivi finora sconosciuti e che ha costretto i vulcanologi a riconsiderare eventi mai avvenuti, ora catalogati come «falsi».

Il volume *L'Etna nella storia. Catalogo delle eruzioni dalla antichità alla fine del XVII Secolo* è edito da Bononia University Press ed è stato prodotto dall'Istituto nazionale di geofisica e vulcanologia (INGV). A comporlo è stato un gruppo di sismologi storici, guidati da Emanuela Guidoboni, alla quale abbiamo chiesto di spiegarci l'importanza di questa opera.

Più di 1000 pagine, 49 eruzioni descritte da testimoni diretti e ben 66 eventi catalogati come «falsi». Perché questo catalogo è importante?

Per la vulcanologia, come per la sismologia, la storia è un formidabile strumento di conoscenza. Nel caso dell'Etna, che è un vulcano attivo, osservato e descritto dall'antichità ai giorni nostri, la conoscenza dei meccanismi eruttivi aiuta a ridurre l'incertezza nella valutazione del rischio connesso alle sue eruzioni. Per diverse eruzioni esistono fonti che descrivono l'evento con una straordinaria accuratezza, giorno per giorno, ora per ora. I vulcanologi attingono da tempo alla letteratura storica per costruire modelli previsionali. Ora hanno a disposizione un catalogo di nuova concezione, dettagliato, e con le fonti originali.

Sfogliando le pagine si nota che anche le fonti storiche contengono errori.

È vero, le fonti storiche possono contenere errori e incongruenze, per questo è indispensabile reperire, analizzare e confrontare un ampio set di documenti. Abbiamo studiato 472 fonti dirette, spesso però sono le successive interpretazioni e deduzioni a essere errate. Abbiamo consultato 14 archivi e 27 biblioteche, dalla Spagna all'Austria alla Francia, poi a Catania, Palermo, Roma, l'Archivio Segreto Vaticano, ripercorrendo più di 2000 anni di storia dell'area. In questo modo abbiamo ricostruito l'attività del vulcano, ma anche evidenziato errori di trascrizione, date aleatorie, tra-

Cortesia da *L'Etna nella storia. Catalogo delle eruzioni dalla antichità alla fine del XVII Secolo*, 2015 (*questa pagina e a fronte*)

CHI È

Emanuela Guidoboni è storica di formazione; sviluppa ricerche su terremoti, maremoti e vulcani riguardanti l'Italia e l'area mediterranea, finalizzando i risultati alla geofisica e alle scienze della Terra.
Ha progettato e guidato le ricerche per il *Catalogo dei forti terremoti in Italia*.
In quasi trent'anni di attività ha contribuito a definire la sismologia storica come una nuova disciplina, di cui ha pubblicato con John Ebel del Boston College il primo manuale: *Earthquakes and Tsunamis in the Past. A Guide to Techniques in Historical Seismology* (Cambridge University Press, 2009).
È consulente dell'Agenzia internazionale per l'energia atomica e coordina le attività del Centro euro-mediterraneo di documentazione eventi estremi e disastri (Bologna e Spoleto).

mandati nella storia ed entrati nei cataloghi ancora in uso. Abbiamo portato alla luce fasi storiche del vulcano che erano in ombra, approfondito eruzioni finora male o poco documentate, individuato sei eruzioni non note.

Ora la vulcanologia, un settore importante con una tradizione più che secolare nel nostro paese, dispone di una cronologia più precisa, e questo forse ridurrà le incertezze nei modelli prodotti dagli scienziati. Il periodo analizzato va dai miti più remoti alla fine del Seicento, che poi è la fase più densa di errori nei cataloghi correnti. Un secolo, quest'ultimo, importante perché proprio nel 1669 avvenne una delle eruzioni più distruttive dell'Etna, che colpì anche Catania.

Come mai questo studio arriva solo oggi? L'Etna, insieme al Vesuvio, è probabilmente il vulcano dell'Occidente studiato più a lungo.

Il nostro studio è cominciato nel 2003, ci sono voluti insomma più di dieci anni, credo però che lo sviluppo di questo tema sia legato soprattutto alla sensibilità della società contemporanea. Ogni società rilegge la storia secondo la propria ottica. Penso che oggi la vulcanologia sia più pronta a dialogare con la storia di quanto lo fosse prima.

Visto dal passato. Eruzione dell'Etna del marzo–luglio 1669, la più devastante di epoca moderna. Gli effetti sono rappresentati nell'affresco della cattedrale di Catania, attribuito a Giacinto Platania, testimone oculare dell'evento. La storia dell'Etna affonda le radici nel mito: il dio Vulcano, l'Efesto dei greci, aveva qui la sua fucina, come illustra il particolare dell'affresco di Guido Romano nella Sala dei Giganti a Palazzo Tè di Mantova (*a fronte*).

E così nasce la sismologia storica. Un ponte tra studi umanistici e scientifici?

Esatto, ho cominciato circa trent'anni fa, quando il Consiglio nazionale delle ricerche (CNR) aprì una stagione di studi storici in seguito dei terremoti del Friuli, avvenuto nel 1976, e dell'Irpinia, avvenuto nel 1980. Più tardi fu costituita una struttura esterna, che ha fornito migliaia di dati storici a INGV, ENEL, ENEA e CNR, a Regioni e a Ministeri. Con il tempo questi studi hanno definito un metodo e la sismologia storica ha preso forma come disciplina. È una branca della sismologia in crescita. Abbiamo prodotto il *Catalogo dei forti terremoti in Italia* e il *Catalogo parametrico dei terremoti Italiani*, due banche dati dell'INGV, che sono consultati da ricercatori e operatori anche non italiani.

Rimane, comunque, uno studio di nicchia. La causa di questo è forse la sua multidisciplinarietà, poco sviluppata nelle università italiane. Basti pensare che l'unico manuale di sismologia storica lo abbiamo scritto e prodotto in inglese e non è ancora stato tradotto in italiano. È un peccato, perché sarebbe importante far capire a sismologi, storici e ingegneri come si formano i dati sui terremoti del passato, che poi servono per le stime di pericolosità e di rischio, e l'enorme importanza delle culture e del pensiero nell'osservazione dei fenomeni naturali.

Che profilo ci puoi dare dell'Etna, alla luce dei tuoi studi?

Per secoli è stato un eccezionale punto di convergenza di culture diverse, che si sono susseguite o sono convissute in questa area: dai Greci ai Romani agli Arabi ai Normanni agli Spagnoli... Le fonti studiate sono scritte in ben 17 lingue: uno spaccato di culture mediterranee ed europee. In ogni tempo si è cercato di convivere con il vulcano adattandosi alla sua vita, per capirlo, sfruttarlo, visto che la sua fertilità era nota, e spiegarlo.

Come è stato accolto questo nuovo catalogo dalla comunità dei vulcanologi?

La reazione iniziale è stata di sorpresa. La comunità scientifica pensava di sapere tutto, almeno per quello che riguardava le eruzioni storiche, mentre il nostro lavoro apre nuovi scenari. Abbiamo documentato una gamma di attività come esplosioni, emissioni gassose, frane, eruzioni di ceneri, precursori e terremoti, fenomeni che fino a oggi non erano del tutto noti e valutati. Abbiamo ricostruito anche le prime misure del cratere prese nel 1540, fatte con capisaldi e corde, e controllate cinque anni dopo: insomma, un approccio scientifico *ante litteram*. È la testimonianza della nascita della vulcanologia moderna.

di Letizia Gabaglio

Geni e cellule contro le malattie

Nominata azienda biotech più innovativa d'Europa nel 2015, MolMed opera nel campo della terapia genica e cellulare per malattie rare e tumori del sangue

Un mix virtuoso fra servizi messi a disposizione di grandi realtà farmaceutiche e sviluppo di soluzioni terapeutiche. È la ricetta vincente di MolMed, la *biotech* italiana nata da un'idea di Claudio Bordignon nel 1996 sulla base dei risultati ottenuti dal suo gruppo di ricerca al San Raffaele di Milano. Tanto vincente da aggiudicarsi quest'anno il titolo di azienda biotecnologica più innovativa d'Europa, assegnato da EuropaBio, l'Associazione europea delle industrie del biotech.

«MolMed è stata costituita come *spin-off* dell'Istituto scientifico San Raffaele per operare nel campo della terapia genica e cellulare, applicata sia a malattie genetiche rare sia alle neoplasie ematologiche», spiega Gian Paolo Rizzardi, *general manager* R&D e Operations dell'azienda. Erano i primi esperimenti di quella che oggi viene comunemente indicata come medicina traslazionale: l'idea cioè di avere i laboratori dove si preparano le terapie cellulari o geniche a fianco dei reparti dove i pazienti sono ricoverati, un approccio fondamentale per lo sviluppo di soluzioni innovative. D'altronde nel 1995 Bordignon aveva fondato l'Istituto San Raffaele Telethon per la terapia genica (TIGET), e lo spin-off doveva servire proprio ad avere le nuove terapie sviluppate in casa e pronte a essere usate sui pazienti.

MolMed acquisisce così competenze uniche, contribuendo alla messa a punto di strategie terapeutiche che hanno fatto la storia recente della terapia genica. Forte di questa esperienza, nel 2000 MolMed decide di fare il salto e diventare un'azienda anche di prodotto, con un focus su nuove terapie per la cura del cancro. «Abbiamo acquisito i prodotti messi a punto al San Raffaele e cominciato a lavorare su due farmaci di punta, che sono arrivati ora in fase avanzata di sviluppo», prosegue Rizzardi.

Gli anni che seguono sono convulsi. Da una parte la terapia genica sembra la grande speranza per malattie per cui non esiste cura, dall'altra però fa segnare anche alcune battute d'arresto, dovute principalmente agli effetti collaterali non attesi delle prime terapie messe a punto. «Anche nei momenti bui, quando sembrava che non ci fosse modo di andare avanti, noi ci abbiamo creduto, abbiamo cercato di capire come limitare e controllare gli effetti delle terapie e alla fine abbiamo ottenuto i risultati sperati», sottolinea il general manager.

Guardare lontano

Quando sulle pagine di «Science», era il 2013, il gruppo del TIGET ha annunciato la guarigione di bambini affetti dalla leucodistrofia metacromatica e dalla malattia di Wiskott-Aldrich, patologie genetiche rare, la soddisfazione è stata di sicuro tanta. Perché anche MolMed può vantare la sua parte in questa impresa, parte che peraltro continuerà a svolgere, come dimostra l'accordo per la produzione dei vettori virali, attraverso cui i geni arrivano nelle cellule, sottoscritto anche nel 2015 con GSK, la multinazionale farmaceutica che a fianco di Telethon svilupperà la terapia.

Ma accanto ai servizi, anzi in simbiosi con questi, la squadra di Bordignon ha deciso di buttarsi anche nell'arena più rischiosa, quella dello sviluppo di farmaci biotech in campo oncologico. Il primo progetto è una terapia cellulare che permette di trapiantare cellule staminali ematopoietiche da donatori solo parzialmente compatibili con il paziente. TK, questo il nome della terapia, renderebbe possibile il trapianto a tutti i malati di leucemia perché libera dalla necessità di avere una perfetta compatibilità fra donatore

LA SCHEDA

MolMed

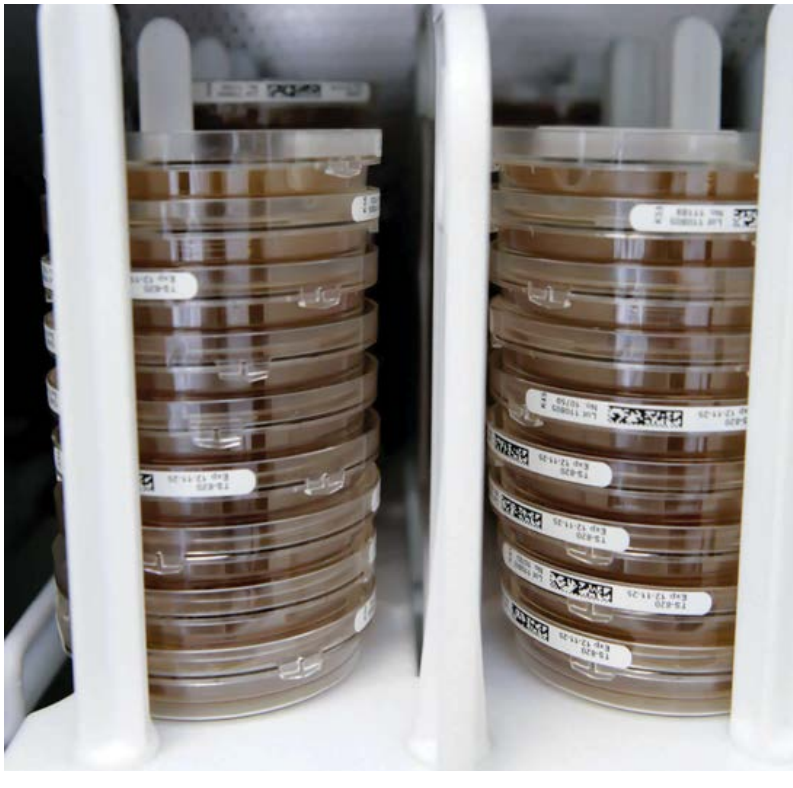
Fatturato
12,4 milioni di euro

Investimenti in ricerca
14 milioni di euro

Dipendenti/collaboratori
più 140 di cui il 75% impiegati in R&S

Brevetti rilasciati
425 brevetti concessi e 60 domande ancora in esame

Cortesia MolMed (*tutte le foto in questa pagina e nella pagina a fronte*)



Nascita di una cura. I laboratori di MolMed e alcuni passaggi degli esperimenti con cui i ricercatori dell'azienda biotecnologica cercano terapie per malattie genetiche rare e neoplasie ematologiche.

la Conditional Marketing Authorisation che, una volta ottenuta, permette l'immissione sul mercato della terapia benché la stessa si trovi ancora nella fase di studio clinico.

Il secondo farmaco è NGR-hTNF, un nuovo agente terapeutico per i tumori solidi che si lega in maniera specifica con i vasi sanguigni che alimentano la massa tumorale, facilitando l'azione dei chemioterapici. «Per anni si è pensato che contro il tumore bisognasse colpire con dosi massicce, con l'unico e ovvio limite di non causare tossicità elevata nel paziente. Ma spesso a questa azione violenta l'organismo rispondeva mettendo in atto meccanismi di bilanciamento con il risultato che, dopo le prime settimane, l'effetto delle terapie svaniva», dice il general manager. «Abbiamo quindi pensato di agire diversamente, usando dosi biologicamente ottimali e spianando la strada all'azione dei chemioterapici. E i risultati degli 11 studi clinici completati ci danno ragione». La proteina prodotta da MolMed è in fase di studio più o meno avanzata su mesotelioma, tumori del colon-retto, del polmone a piccole cellule e quello non a piccole cellule, del fegato, dell'ovaio e nel sarcoma dei tessuti molli.

Accanto ai due progetti già in fase avanzata, ad aprile scorso si è aggiunta un'immunoterapia genetica, CAR-CD44v6, che è ancora in fase preclinica di sperimentazione. CAR-T, di cui anche il progetto MolMed fa parte, è una famiglia di terapie che usa linfociti armati con recettori sintetici in grado di uccidere cellule specifiche. «Nel mondo ci sono diversi programmi in sviluppo che seguono questa strategia, ma il nostro è diverso da tutti. Mentre la maggior parte degli studi si concentra sul recettore CD19, espresso dalle cellule leucemiche, noi abbiamo scelto un recettore espresso non solo nelle neoplasie ematologiche, ma anche da molti tumori solidi», conclude Rizzardi. Ancora una volta i ricercatori di MolMed guardano lontano.

e ricevente. Come ci riesce? Ingegnerizzando le cellule del donatore in maniera da minimizzare la cosiddetta malattia contro l'ospite, che si sviluppa in risposta immunitaria a cellule estranee.

Grazie alla somministrazione di un farmaco a cui le cellule TK del sistema immunitario sono sensibili si riesce a manovrarne l'azione e a bilanciare il sistema. «Il risultato è che si ha una ricostituzione del sistema immunitario rapida, si abbassa il rischio di infezioni e si aumenta la sopravvivenza a lungo termine di questi pazienti», spiega Rizzardi. Per questa terapia MolMed ha chiesto alla European Medicines Agency, l'agenzia regolatoria europea,

Non c'è più il futuro di una volta

Saranno gli insetti a offrirci una fonte proteica che sostituisca la carne? Forse sì. Ma allevarli su scala industriale potrebbe non essere efficiente quanto si dice

"Nel duemila... /noi non mangeremo più /né bistecche, né spaghetti col ragù, /prenderemo quattro pillole /e con gran semplicità /la fame sparirà...». Era il 1959, iniziavano a uscire le prime stime preoccupanti sulla crescita della popolazione mondiale e Bruno Martino cantava così come sarebbe stato il futuro, tra razzi che ci avrebbero portati sulla Luna in tre ore e soluzioni facili a un problema immensamente complesso come quello della fame nel mondo.

Riuscire a prevedere il futuro è un'impresa ardua. A sfogliare le riviste divulgative d'epoca, si scopre, per esempio, che negli anni venti del Novecento si pensava di poter risolvere tutto con il carbone. Nel 1926 James Norris, presidente dell'American Chemical Society, scriveva, perentorio: «Finché ci saranno chimici, non ci saranno problemi di risorse». Dal carbone si sarebbero infatti potuti sintetizzare sia i nutrienti, sia i combustibili.

Qualche anno più tardi, nel 1940, la panacea erano l'erba e i germogli. «È sufficiente mangiare poco più di 5 chilogrammi di foglie essiccate al giorno per avere tutti i nutrienti necessari all'organismo», sostenevano gli scienziati dell'epoca. Non essendo l'erba di per sé molto appetibile, per qualche tempo si è provato a proporla sotto forma di farina, da aggiungere alle normali preparazioni, con l'effetto collaterale di far diventare tutto verde. Risale agli anni cinquanta, invece, l'idea del cibo sintetico, quelle pillole cantate da Bruno Martino che sarebbero state prodotte a partire dai rifiuti.

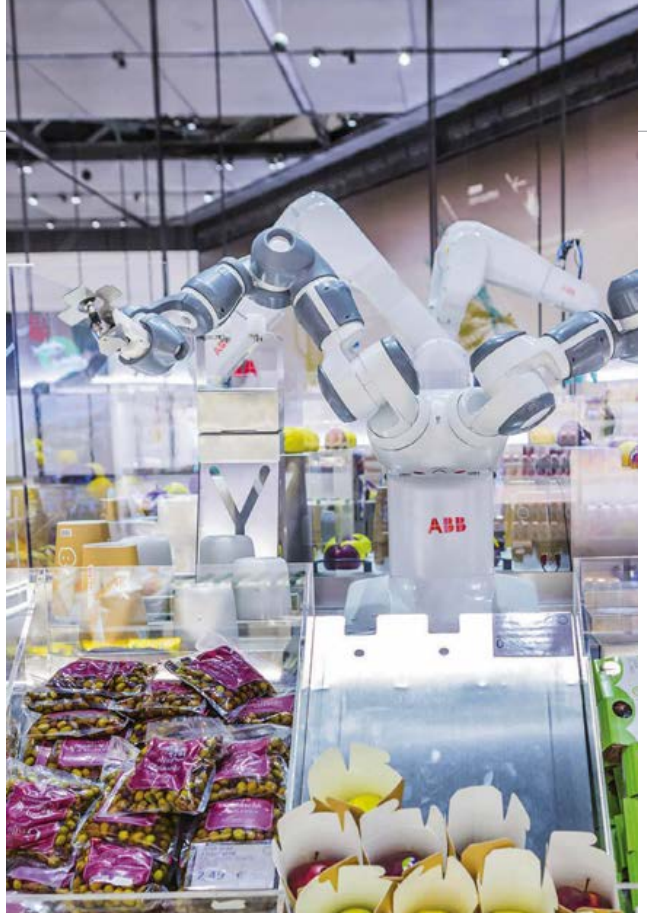
Guardare queste previsioni oggi, con gli occhi del «duemila», fa sorridere, ma fa anche riflettere, perché, più di cinquant'anni dopo, ci troviamo all'Expo, la grande Esposizione Universale che si svolge in questi mesi a Milano, immersi in un'ambientazione che ricorda molto quella della canzone di Bruno Martino. Le parole sono un po' cambiate, il nostro sguardo vola verso il 2050, gli spaghetti col ragù continuiamo a mangiarli, ma c'è chi le bistecche le vorrebbe proprio sostituire. No, non parliamo più di pillole, ma principalmente di alghe e insetti, anche se l'idea della carne sintetica non è stata per niente accantonata.

Proteine alternative

Le stime dicono che da qui al 2050 la domanda di carne raddoppierà, con ripercussioni ambientali insostenibili. La FAO è corsa ai ripari, e sta promuovendo ormai da qualche anno il consumo di proteine da fonti alternative alla classica bistecca. Nel mondo, ci dice la FAO, ci sono già due miliardi di persone, principalmente in Asia, che si nutrono quotidianamente di insetti. Ma la tendenza si sta diffondendo anche altrove, come in Belgio, Olanda e Spagna, qui in Europa, ma anche negli Stati Uniti e in Sudafrica.

Non stupisce, quindi, che l'Expo dedichi al tema molto spazio, anche se non aspettatevi di andare lì ad assaggiarli. Ci avevano provato nei padiglioni di Olanda, Belgio e Angola, ma li hanno sequestrati, per ragioni burocratiche, prima che potessimo andare a provarli per voi. Con le alghe va meglio. In Olanda potete man-

Atlantide Phototravel/Corbis (*Expo, 2*)



Josef Beck/imageBROKER/Corbis (*mercato*)

Il Future Food District dell'Expo, coordinato dalla Coop (*sopra e a fianco*). Sotto, grilli fritti e bachi da seta alla griglia in vendita in un mercato thailandese.

di Beatrice Mautino
Biotecnologa, giornalista e comunicatrice scientifica. Tra i suoi libri più recenti, l'e-book *Stamina. Una storia sbagliata* (2014) e *Contro natura*, con Dario Bressanini (Rizzoli, 2015)

giare un Weed Burger con polpetta d'alga, insalata di mare e pane verdognolo e in Ecuador potete comprare il cioccolato alla spirulina, che però, non fosse per il prezzo, non ci si accorgerebbe della differenza con una normalissima barretta di cioccolato. Gli insetti, invece, si possono solo guardare.

«Una risposta concreta, accessibile, sostenibile per ridurre la fame nel mondo e salvaguardare la Terra per il futuro delle nuove generazioni». Sono le parole che introducono la piccola mostra sugli insetti commestibili ospitata dal Future Food District, lo spazio coordinato da Coop che l'Expo dedica alle proposte per il cibo del futuro. Tra coltivazioni idroponiche, supermercati avveniristici e opere d'arte a base di alghe, ben protetti da una teca si possono ammirare grilli, cavallette, locuste e vermi messi sotto vuoto o in scatoletta.

Nel padiglione del Belgio scopriamo che, rispetto ad altre forme di allevamento, quella degli insetti sembra essere molto più efficiente. Grazie al loro metabolismo, gli insetti crescono velocemente, e i dati finora a disposizione parlano di un consumo di risorse pari a un sesto dell'allevamento di bovini e alla metà di quello di suini o polli. In pratica, per produrre un chilogrammo di insetti serve una quantità di mangime sei volte inferiore a quella necessaria per produrre un chilogrammo di carne di manzo.

Un pasto gratis?

Attenzione, però, ci dicono dall'Università della California a Davis, stiamo rischiando di sovrastimare l'efficienza dell'allevamento di insetti. L'agronomo Mark Lundy e l'entomologo Michael Parrella hanno pubblicato ad aprile 2015, sulla rivista «PLoS One», i risultati di un esperimento su larga scala che sembrerebbe ridimensionare l'entusiasmo. A livello industriale, infatti, gli insetti sono allevati con mangimi a base di granaglie, quindi, per essere davvero sicuri della loro maggiore efficienza, è necessario misurare e confrontare i dati con altre forme di allevamento che si basano sulle stesse fonti: i polli, per esempio. Analogamente, la proposta di alcuni di allevare gli insetti usando gli «sprechi», cioè gli scarti della lavorazione di alcuni prodotti o i rifiuti alimentari è molto interessante perché risolverebbe due problemi in un colpo solo. Ma funziona?

Lundy e Parrella hanno preso 15 popolazioni di grilli e le hanno sottoposto a cinque diete differenti, scoprendo che la vera differenza la fa l'alimentazione. Se allevati usando lo stesso mangime che si usa per il pollame, l'efficienza non sembra essere migliore. Il confronto risulta invece più favorevole quando i grilli sono nutriti con residui alimentari elaborati, e peggiora invece drasticamente, fino ad arrivare alla morte precoce della maggior parte degli animali, se vengono nutriti con paglia e altri scarti della lavorazione delle granaglie. Dati utilissimi per riuscire ad analizzare la questione in profondità e studiare proposte che siano davvero efficienti e sostenibili, al di là dei proclami e delle soluzioni facili. Una profondità di analisi che, qui all'Expo, purtroppo manca.

di Telmo Pievani
è professore associato di filosofia delle scienze biologiche dell'Università degli Studi di Padova

Un'acciuga dell'Eocene

Il più antico membro noto della famiglia di questi pesci è un fossile scoperto in Italia

Sarebbe bello vivere in un mondo in cui la scoperta di un'acciuga dell'Eocene potesse fare notizia. Per due ragioni. La prima è che la documentazione fossile riguarda una quantità così sterminata di specie, vissute nell'arco di una quantità altrettanto sterminata di tempo, che la comparsa sul palcoscenico paleontologico di un nuovo attore è come un prezioso cono di luce che si accende in un vastissimo buio. La seconda è che il battesimo di una nuova specie fossile nasconde spesso tanta umanità.

Cominciamo dall'acciuga, che ha poco meno di 50 milioni di anni ed è stata scoperta nel ricco giacimento fossilifero del Monte Bolca, nel veronese, uno straordinario viaggio all'indietro nel tempo immersi in un mare tropicale, degno di un film di Hollywood se solo imparassimo a valorizzare le nostre ricchezze. Due paleontologi italiani, Giuseppe Marramà e Giorgio Carnevale del Dipartimento di scienze della Terra dell'Università di Torino, hanno riesaminato la collezione proveniente dal sito della Pesciara e scovato uno scheletro del tutto unico di acciuga, molto ben conservato, le cui caratteristiche e datazione sono di particolare interesse.

Si tratta di un engraulide (la famiglia delle acciughe) con una combinazione di caratteri tale da individuarlo come rappresentante non solo di una specie nuova, ma anche di un genere mai visto. Inoltre, è il più antico membro conosciuto della famiglia *Engraulidae* (17 generi e 250 specie), ponendosi alla base della loro diversificazione nell'Eocene. Il gruppo è monofiletico e la nuova specie di Bolca presenta tratti incipienti che poi si trovano nelle acciughe successive. Le caratteristiche del cranio, in particolare, sono ancestrali rispetto sia alla sottofamiglia delle acciughe a distribuzione cosmopolita sia a quelle presenti nell'Oceano Atlantico.

Per ragioni connesse alla ricchezza dell'ambiente, le acciughe oggi sono molto diffuse, mentre sono stranamente rare da trovare nei sedimenti fossili. Si cibano di plancton nelle acque tropicali e temperate calde. La scoperta suggerisce che la loro diversificazione possa essere avvenuta (di sicuro 50 milioni di anni fa, ma forse già dal Cretaceo) lungo le fiorenti coste occidentali della Tetide, il paleoMediterraneo le cui oscillazioni di livello hanno avuto un ruolo cruciale sia nel passaggio di specie terrestri tra Africa ed Eurasia sia nell'evoluzione di molti pesci. Da quel momento il successo evolutivo dell'acciuga non ha avuto pause e per ora regge addirittura alla caccia intensiva del più vorace dei mammiferi, *Homo sapiens*.

Il fossile (divenuto olotipo della nuova specie) giaceva fra altro materiale non descritto al Museo civico di storia naturale di Verona. La scoperta è pubblicata sul «Geological Magazine», a ennesima riprova di quanto le collezioni museali italiane siano un patrimonio nazionale (tristemente negletto dai nostri governanti), uno scrigno di ricerche possibili e di indicazioni per la conservazione della biodiversità, oltre che occasione di comunicazione e di educazione scientifica. E qui veniamo al lato umano di questa storia.

La piccola acciuga primitiva dai larghi occhi, il corpo allungato e schiacciato lateralmente, è stata chiamata *Eoengraulis fasoloi*, in onore di un grande biologo italiano scomparso a novembre scorso, Aldo Fasolo, per i suoi notevoli contributi alla neuroanatomia dei vertebrati. Nulla poteva impreziosire la scoperta più di questa dedica a un evoluzionista appassionato, maestro di tanti giovani eccellenti ricercatori, intellettualmente aperto e generoso, instancabile comunicatore. I colleghi torinesi hanno pensato che, trattandosi della possibile prima acciuga, ed essendo le acciughe il pesce tipico della cucina piemontese, l'animale non poteva che essere dedicato a un vero piemontese (e buongustaio raffinato). Purtroppo Aldo non ha fatto in tempo a vedere l'acciuga *fasoloi*, ma ci piace ricordarlo mentre assaggiava le sue saporite discendenti.

Piccole e di successo. Il successo evolutivo delle acciughe continua ancora oggi e riesce a sostenere il peso della pesca intensiva da parte della nostra specie vorace.

evantravels/Shutterstock

di Edoardo Boncinelli
Università Vita-Salute San Raffaele, Milano

La vita secondo Dawkins, rivisitata

Osservazioni sulle idee dello scienziato britannico riguardo a vita ed evoluzione

Nel numero scorso abbiamo visto come Richard Dawkins abbia efficacemente sintetizzato il proprio pensiero sulla natura della vita in un'intervista recentemente rilasciata a John Brockman. Il testo completo si può trovare in *This is my vision of «life»* sul sito www.edge.org.

Eccone una breve sintesi: «La mia visione della vita è che tutto parte dai replicatori, che sono in pratica molecole di DNA su questo pianeta. L'azione dei replicatori arriva nel mondo a influenzare la propria probabilità di essere trasmessi. Per lo più la loro azione non va oltre l'organismo dove si vengono a trovare. Il singolo organismo può essere definito come quell'insieme di prodotti fenotipici che rappresenta l'unica via di passaggio per i geni verso il loro futuro. Così l'organismo, il singolo organismo, viene a rappresentare un'unità di selezione che ho definito un "veicolo". Esistono quindi due tipi di unità di selezione. Una, il replicatore, che copia se stessa, in modo che una quantità sempre maggiore di sue copie viene immessa nel mondo. L'altra, il veicolo, non copia se stessa, ma copia indirettamente i replicatori che contiene, che ha ricevuto a sua volta dalle precedenti generazioni e che si appresta a passare a quelle future».

Ritratto cromosomico. L'insieme dei cromosomi di un essere umano depositari del genoma, l'unità di trasmissione genetica.

CNRI/SPL/Contrasto

Voglio ora fare un paio di osservazioni che possono anche essere viste come altrettanti indizi della «saggezza» e della lungimiranza della natura vivente. La prima osservazione riguarda il rapporto fra i singoli geni e il fenotipo dell'organismo che li porta, cioè quello che il nostro autore definisce il veicolo. Oggi sappiamo che i geni non sono tutti uguali, ma hanno un'importanza diversa nella formazione dell'individuo che li porta: alcuni vi contribuiscono direttamente, mentre altri, i geni regolatori di alto livello gerarchico, lo fanno regolando il comportamento di molti altri geni. L'esempio tipico è dato dagli omeogèni, che regolano la formazione del corpo attivando o inattivando gruppi di altri geni. In questo modo si appanna il rapporto diretto fra i diversi geni e il fenotipo del veicolo, rendendo più incerta l'azione della selezione naturale sulla natura dei singoli geni, mettendola piuttosto in correlazione con quella di gruppi di geni o circuiti genici. Risulta meno chiaro quindi quello che i replicatori possono fare direttamente per «influenzare la propria probabilità di essere trasmessi».

La seconda osservazione riguarda l'incerta corrispondenza fra replicatori e geni. Fermo restando che l'unità di trasmissione genetica è considerato oggi il genoma nel suo complesso, piuttosto che i singoli geni – perché è il nostro genoma che noi passiamo ai nostri figli e non geni singoli – non sempre le cosiddette «origini di replicazione» del DNA presenti nei diversi cromosomi coincidono con specifiche regioni geniche, ma si osserva piuttosto una serie di situazioni miste: uno stesso gene può contenere più origini di replicazione e una stessa regione di replicazione può interessare più di un gene.

Quindi, in considerazione di quanto sappiamo oggi, la visione di Dawkins, assai soddisfacente qualche anno fa, mostra qualche piccola crepa. Si tratta in sostanza di due tipi di «sfasamento», tra i geni e i replicatori molecolari, ma anche tra l'azione dei geni e il fenotipo complessivo del veicolo. Come abbiamo anticipato sopra, queste osservazioni possono condurre tuttavia anche a interessanti conclusioni sulla tenacia e la continuità della catena dei processi vitali.

Se i geni non coincidono in tutto e per tutto con le origini di replicazione del DNA si otterrà una sorta di «invischiamento» fra la funzione replicativa e la funzione codificante dei geni stessi, e ciò è certamente una garanzia di continuità obbligata. Così pure, se i geni contribuiscono in un modo che non è univoco alla formazione del fenotipo dell'individuo, fenotipo che sarà l'oggetto del processo di selezione naturale, si otterrà un altro tipo di invischiamento fra geni e organismi, invischiamento che obbligherà un evento a «trascinare» l'altro, a tutto vantaggio della continuità obbligata della vita.

È inoltre possibile fare una sorta di osservazione «zero». Nel caso della riproduzione sessuata il fenotipo dei discendenti dipende anche dall'azione dei geni del secondo genitore, così che la rete degli invischiamenti si estende, e la vita ne risulta destinata ad autoperpetuarsi quasi di necessità.

di Piergiorgio Odifreddi
professore ordinario di logica matematica all'Università di Torino
e visiting professor alla Cornell University di Ithaca (New York)

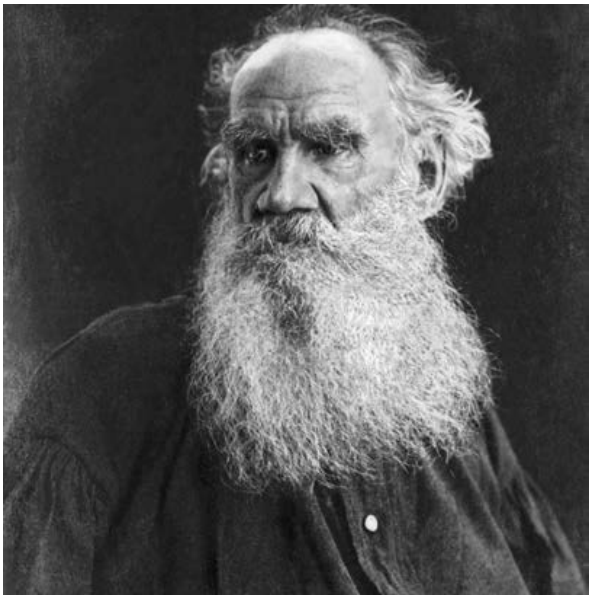
Il principio di Anna Karenina

I romanzi di Lev Tolstoj abbondano di citazioni matematiche e scientifiche

Molti conoscono il principio di *Anna Karenina* di Lev Tolstoj (1877): «Tutte le famiglie felici si assomigliano fra loro, ogni famiglia infelice è infelice a modo suo». Ma pochi conoscono il principio di Anna Karenina di Jared Diamond, da lui enunciato in *Armi, acciaio e malattie* (1997): «Tutte le specie domestiche sono state addomesticate per gli stessi motivi, ogni specie non addomesticata non lo è stata a modo suo».

In termini meno concisi, Diamond spiega che gli animali hanno spesso un matrimonio infelice con gli esseri umani per una o più ragioni: abitudini alimentari difficili, tasso di crescita lento, costumi riproduttivi incompatibili con la cattività, carattere aggressivo, tendenza al panico e mancanza di istinto gregario. Solo le poche specie che sono compatibili con gli esseri umani rispetto a tutti questi criteri garantiscono la possibilità di un matrimonio felice.

Una volta allertati al contenuto metaforico del principio di Anna Karenina, però, se ne scoprono subito anche altre applicazioni. Per esempio non è altro che una versione del criterio di falsificazione enunciato da Aristotele e ripreso da Popper, secondo cui un'affermazione universale è falsa quando ammette anche un solo controesempio, ed è vera altrimenti. Dunque, tutte le affermazioni universali vere si somigliano fra loro, perché non ammettono alcun controesempio. Ma ogni affermazione universale falsa lo è a modo suo, a causa di uno o più controesempi specifici.



Dalla Russia. Lo scrittore russo Lev Nikolaevic Tolstoj, nato nel 1828 e scomparso nel 1910.

Analogamente, il principio di Anna Karenina è una versione del criterio di unanimità, che richiede l'accordo di tutti per rendere operativa una decisione. In questo senso tutte le decisioni unanimi si somigliano fra loro, perché non hanno avuto alcun voto contrario. Ma ogni decisione non unanime lo è a modo suo, a causa di uno o più voti contrari specifici.

In pratica sono esempi di applicazioni del principio sia le gare a eliminazione sia la lotta per la sopravvivenza, perché l'unico modo di vincere o sopravvivere è superare tutti gli ostacoli, mentre ciascun ostacolo fornisce un'occasione diversa di perdere o perire. Come già diceva il solito Aristotele nell'*Etica Nicomachea*: «Si può fallire in molti modi, ma si ha successo in uno solo. I buoni si comportano tutti ugualmente, i cattivi tutti diversamente».

Ma non ci si deve stupire di trovare in un'opera di Tolstoj un contenuto scientifico, sia pure metaforico. L'altro suo capolavoro, *Guerra e pace* (1869), abbonda infatti di citazioni di natura matematica e fisica. Per esempio il vecchio principe Bolkonskij si diletta di «calcoli di alta matematica», e impartisce alla figlia Marja «lezioni di algebra e geometria». E a metà esatta del romanzo si cita la grande cometa del 1812, ricordando che essa percorreva «una curva parabolica»: anche se poi, in seguito, si è calcolato che si trattava in realtà di una curva ellittica, con un periodo orbitale di circa 3000 anni.

Più volte viene citata la legge di Newton: per esempio per affermare che la nostalgia della famiglia nel giovane Rostov, o l'energia dell'impatto dell'esercito francese, crescevano in maniera inversamente proporzionale al quadrato della distanza da casa, o dall'esercito russo. Anche se la miglior citazione di Tolstoj al proposito è forse quella nel racconto *La morte di Ivan Il'ic* (1886), per il quale tutto diventa sempre più nero in maniera inversamente proporzionale al quadrato della distanza dalla morte, mentre «l'immagine della pietra che piomba giù con velocità accelerata gli cade nell'anima».

Le metafore cinematiche abbondano nelle descrizioni degli urti tra gli eserciti e delle forze in .gioco, che si sommano secondo «la regola della diagonale del parallelogramma». Ma la sorpresa maggiore è l'uso che Tolstoj fa dell'analisi matematica nella sua teoria della storia, riassunto in questa citazione: «Soltanto ammettendo all'osservazione le unità infinitamente piccole – il differenziale della storia, cioè le aspirazioni omogenee degli uomini – e raggiungendo l'arte di integrare (cioè sommare queste quantità infinitamente piccole) possiamo sperare di comprendere le leggi della storia».

Questo uso gli fu suggerito dal matematico Sergej Urusov, che lo anticipò nel 1868 in un'indagine sui problemi matematico-militari delle campagne del 1812 e 1813. E che in seguito fu entusiasta del modo in cui Tolstoj lo applicò, dando una sublime forma letteraria a una geniale idea di matematica applicata alla storia.

Corbis

di Amedeo Balbi
Astrofisico, ricercatore al Dipartimento di fisica dell'Università di Roma Tor Vergata

Il futuro al buio dell'universo

La popolazione stellare del cosmo è in lento ma inesorabile declino demografico

Siamo abituati a pensare all'universo come a un posto pieno di stelle, ma non è stato sempre così. C'è stato un periodo, all'inizio di tutto, in cui non si era ancora accesa nessuna luce: un'epoca che gli astronomi chiamano «età oscura». In questa fase la gravità stava ancora lavorando nell'ombra, accumulando il materiale che avrebbe formato le prime galassie. Non sappiamo ancora di preciso quanto sia durata questa fase. Ci sono prove – ottenute dallo studio della componente polarizzata della radiazione cosmica di fondo – di un forte rilascio di energia, associato probabilmente all'accensione delle prime stelle, attorno a 500 milioni di anni dopo il big bang.

Come erano queste prime stelle? Dovevano essere diverse da quelle che vediamo oggi. Potevano essere composte essenzialmente solo di due tipi di atomi, idrogeno ed elio, gli unici prodotti in grande quantità pochi minuti dopo il big bang (lo stesso processo aveva prodotto anche quantità trascurabili degli isotopi elio-3, trizio, litio-7 e berillio-7). Dovevano essere molto massicce (centinaia o migliaia di volte più del Sole) e brillanti, caldissime e di breve durata. In pochi milioni di anni avrebbero esaurito il combustibile, esplodendo come supernove e spargendo nello spazio gli atomi più pesanti che le reazioni nucleari erano riuscite a produrre al loro interno.

Proprio a causa della loro vita effimera, fino a oggi è stato impossibile osservare direttamente queste prime stelle. Una forte prova della loro esistenza è stata però ottenuta di recente da un gruppo di astronomi dello European Southern Observatory, che ha usato il Very Large Telescope per osservare galassie molto giovani e brillanti, risalenti a un'epoca in cui l'universo aveva circa 800 milioni di anni. Ispezionando in dettaglio una di queste galassie gli astronomi hanno notato regioni molto luminose contenenti grandi quantità di elio ionizzato, ma nessuna traccia di elementi più pesanti. La spiegazione più probabile, secondo i ricercatori coinvolti, è che l'energia necessaria a ionizzare il gas provenga proprio da ammassi di stelle di prima generazione (lo studio è stato accettato a giugno dalla rivista «The Astrophysical Journal»).

Dopo la rapida scomparsa delle prime stelle, è iniziato un periodo di grande attività, una fase di intensa produzione stellare, un boom di nascite che non sarà poi mai più eguagliato. Ma ciò non significa che ci siamo lasciati per sempre alle spalle il periodo oscuro. Il combustibile necessario ad alimentare le reazioni di fusione nucleare che tengono accese le stelle non potrà essere sfruttato in eterno, e quello che c'è viene diluito fino a rendere sempre meno efficace il collasso gravitazionale che occorre per innescare nuove reazioni.

Il risultato è che già oggi nell'universo nascono sempre meno nuove stelle. Le stime mostrano che più della metà delle stelle che brillano attualmente si sono accese tra 8 e 11 miliardi di anni fa, e che il tasso di nuove nascite oggi è appena il 3 per cento di quello che c'era allora, al picco di produzione. L'ultima stella si accenderà probabilmente tra migliaia di miliardi di anni, ma il 95 per cento di tutte le stelle che mai nasceranno nell'universo è già nato.

Stella neonata. Una giovane stella, IRAS 14568-6304, è nascosta da un mantello dorato di gas e polveri. In un futuro molto lontano la nascita di astri sarà un evento sempre meno frequente.

L'universo è insomma in pieno declino demografico. E ha davanti a sé un futuro sempre più buio. Le stelle più brillanti se ne andranno per prime, una dopo l'altra, mentre le più piccole e meno luminose continueranno a brillare ancora per migliaia di miliardi di anni, illuminando lo spazio con la loro luce rossastra, finché anche l'ultima si spegnerà. Noi abbiamo vissuto nel periodo – relativamente breve, sulla scala dei tempi cosmici – in cui il cielo poteva risplendere di stelle luminose. Anche per questo vale la pena godersi lo spettacolo.

Cortesia ESA/Hubble & NASA

di Giorgio Manzi
Insegna paleoantropologia presso il Dipartimento di biologia ambientale dell'Università «La Sapienza» di Roma, dove dirige il Museo di antropologia «Giuseppe Sergi»

Incontri ravvicinati

Gli incroci tra la nostra specie e i Neanderthal sarebbero avvenuti anche in Europa

Il confronto tra il nostro DNA e quello dei Neanderthal dimostra che questi ultimi hanno contribuito con quote tra 1 e 3 per cento al genoma degli esseri umani attuali, a parte gli africani sub-sahariani, suggerendo che le popolazioni ancestrali a tutti noi si sarebbero incrociate con i Neanderthal una volta uscite dall'Africa. Uno studio, pubblicato su «Nature» a firma del solito Svante Pääbo del Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie di Lipsia e di molti coautori, getta nuova luce su questi incontri sessuali (non sappiamo se pure sentimentali, ma c'è da dubitarne), che sarebbero avvenuti anche in Europa (non solo dunque in un'ambientazione levantina).

Da tempo sappiamo che alcune decine di millenni dal presente, tra 45.000 e 35.000 anni fa per la precisione, popolazioni di esseri umani dall'anatomia moderna (*Homo sapiens*) che venivano dal Vicino Oriente e avevano attraversato le terre intorno al Mar Nero, si diffusero attraverso la penisola balcanica e dilagarono a nord del Mediterraneo. Nello stesso periodo di tempo e in questi stessi territori, altri esseri umani, la cui anatomia ci dice che appartenevano a una specie differente di *Homo* (*H. neanderthalensis*), erano stati drammaticamente colpiti dagli effetti della prima lunga fase dell'ultima glaciazione (il cui acme fu intorno a 65.000 anni fa) e, accusando la competizione con i nuovi venuti, si estinsero definitivamente 40.000 anni fa o giù di lì. Una storia dal fascino irresistibile.

Europeo dei primordi. La mandibola di *Homo sapiens* datata circa 40.000 anni fa e scoperta nel 2002 a Pestera cu Oase, in Romania.

Ci sarei proprio voluto essere (come osservatore impalpabile, sia chiaro) quando quelle due specie umane, differenti ma strettamente imparentate, si confrontarono per decine di millenni su territori che coprono tanta parte dell'Eurasia. Per quanto sia successo innumerevoli volte nel corso della storia che popolazioni diverse per etnia, cultura, regime economico e risorse tecnologiche si siano confrontate su vasti territori (l'esempio più vistoso è quello americano), si è sempre trattato di popolazioni appartenenti a una stessa specie, la nostra. Là invece, nel tardo Pleistocene, in un orizzonte geografico che dal Sinai si apre come un ventaglio fra stretto di Gibilterra e Mongolia, a incontrarsi, a competere per le risorse, e forse anche a scontrarsi, furono specie differenti: *H. sapiens* e *H. neanderthalensis*. Ce lo dice la loro morfologia e ce lo conferma il loro DNA (e di tutto questo, magari, riparliamo meglio un'altra volta).

Come sia stato che le due specie si sono ibridate è un argomento da tempo dibattuto. La dimensione dei segmenti Neanderthal nel nostro genoma suggerisce che questo sia avvenuto tra 37.000 e 86.000 anni fa. Tuttavia, esattamente quando e quante volte questo si sia verificato non è affatto chiaro (e c'è chi dubita che incroci ci siano davvero stati). In particolare, le analisi del DNA degli europei di oggi indicherebbe che le «scappatelle» non siano avvenute in Europa, nonostante il fatto che i Neanderthal qui fossero relativamente numerosi e che si abbiano tracce di interazione culturale tra i due gruppi in diversi siti del continente.

Il nuovo studio ha riguardato ora uno dei primi europei moderni: la mandibola Oase 1, scoperta nel 2002 a Pestera cu Oase in Romania, datata con il radiocarbonio a circa 40.000 anni fa e caratterizzata (secondo alcuni) da tratti morfologici che potrebbero far pensare a un ibrido. L'analisi del suo genoma ha mostrato la presenza di DNA Neanderthal fra il 6 e il 9 per cento, molto più che in qualunque essere umano attuale. Questo non sembrerebbe inatteso, dati episodi di ibridazione avvenuti in Vicino Oriente nei millenni precedenti. Tuttavia, le lunghezze di alcuni di questi segmenti ibridi hanno dimensioni che suggeriscono a Pääbo e colleghi che l'incrocio sarebbe avvenuto soltanto cinque o sei generazioni prima, cioè quando i progenitori di Oase 1 erano già in Europa.

Cortesia Svante Pääbo, Max-Planck-Institut für evolutionäre Anthropologie

CLIMA

Nessuna pausa nel riscaldamento

Contrariamente a quanto ipotizzato la temperatura della Terra cresce senza sosta

Paul Souders/Corbis

Effetto artico. Vicino alla costa di Spitsbergen, isola dell'arcipelago delle Svalbard nell'Oceano Artico, un iceberg si scioglie sotto il Sole. Nelle regioni artiche l'aumento della temperatura media è più accentuato rispetto ad altre aree della Terra.

Ne hanno cercato le tracce nel profondo degli oceani, in alterazioni della circolazione atmosferica, o nella schermatura del pianeta prodotta da inquinanti ed eruzioni vulcaniche. Ma forse il «calore mancante» non è mai mancato: era nascosto in bella vista, come dicono gli inglesi. O meglio, nascosto nelle imprecisioni dei dati.

Il cambiamento climatico pareva non essere più quello di una volta: dal 1998 si sono registrati aumenti di temperatura molto più piccoli che nei decenni precedenti. Il rallentamento è stato riconosciuto nel 2013 dall'Intergovernmental Panel on Climate Change (IPCC) e battezzato «iato» climatico: rispetto ai 0,113 °C di riscaldamento per decennio stimati fra il 1950 e il 1999, dal 1998 la crescita è stata solo di 0,039 °C per decennio. Mentre molti climatologi si affaccendavano a capire che cosa stesse succedendo, i negazionisti vedevano soddisfatti una conferma alle loro tesi. Ma gli stessi autori di alcuni studi alla base del rapporto IPCC dicono ora su «Science» che lo iato era solo apparente. Li guida Thomas Karl, direttore del National Climatic Data Center della National Oceanographic and Atmospheric Administration statunitense.

Misurare le temperature delle superfici terrestri e marine non è banale, e ancor meno lo è confrontare dati rilevati in tempi diversi con metodi cangianti. Un tempo le temperature marine si misuravano dalle navi raccogliendo l'acqua con i secchi, poi con termometri nel liquido aspirato per raffreddare i motori, e oggi sempre più con boe dedicate. Più affidabili, ma che rilevano sistematicamente temperature un po' più basse, per citare solo una delle fonti di discrepanze.

Anche per le misure a terra le cose stanno cambiando. La recente International Surface Temperature Initiative ha più che raddoppiato le stazioni di rilevamento disponibili, specie in regioni finora poco coperte come Africa, Asia, Sud America, e soprattutto l'Artico, dove il riscaldamento è molto più accentuato. I suoi primi dati sono giunti l'anno scorso e Karl li ha inclusi nella nuova analisi.

Il risultato di tutte le ricalibrazioni è che dal 1998 al 2012 il pianeta si è scaldato di 0,086 °C per decennio, oltre il doppio della stima IPCC. Per di più, il 1998 è stato molto caldo a causa di El Niño. Se si parte dal 2000, e si arriva fino al rovente 2014, si vede infatti che il riscaldamento secondo i nuovi calcoli è stato di 0,116 °C per decennio, pienamente in linea con i periodi precedenti.

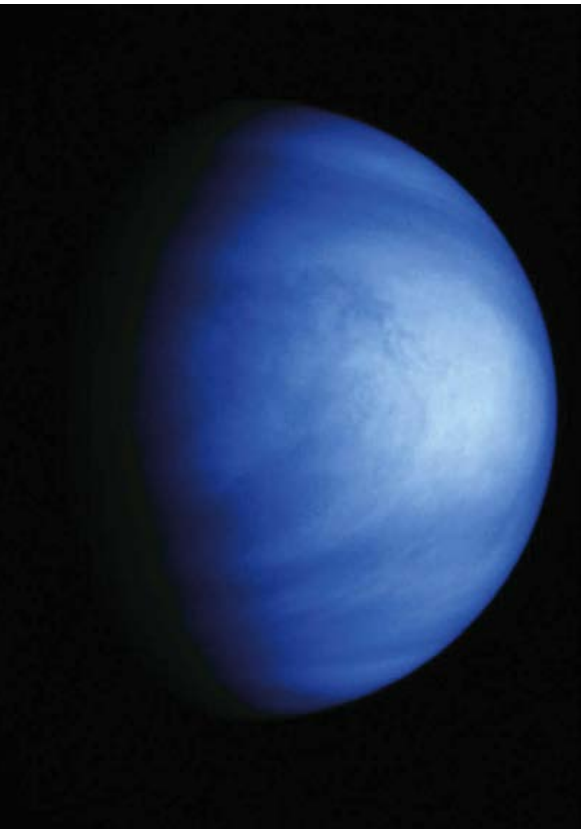
Secondo alcuni climatologi le correzioni non spiegano ancora tutto e in realtà un minimo di rallentamento c'è stato davvero. Secondo altri, viceversa, le temperature stanno salendo ancora di più perché il contributo del forte riscaldamento artico resta sottostimato. Un altro punto su cui Karl intende ora lavorare.

Giovanni Sabato

ASTRONOMIA

Venere che non ti aspetti

Il raggio del pianeta cambia con le lunghezze d'onda a cui è osservato



Il pianeta Venere ha un raggio diverso a seconda della lunghezza d'onda a cui lo si osserva. A scoprirlo, grazie a osservazioni dedicate durante l'ultimo transito del pianeta davanti al Sole, avvenuto nel 2012, è stato un gruppo di astronomi italiani guidato da Fabio Reale, dell'Università di Palermo. La ricerca, i cui risultati sono stati pubblicati su «Nature Communications», è stata effettuata nelle bande ottica, ultravioletta e dei raggi X molli grazie agli strumenti montati a bordo del telescopio spaziale SDO (Solar Dynamics Observatory) della NASA e della sonda giapponese Hinode.

In particolare, se osservato nell'ottico, il pianeta mostra un raggio di 80 chilometri maggiore del corpo solido (che ha un raggio di circa 6050 chilometri, di poco inferiore a quello della Terra), mentre passando all'ultravioletto il raggio aumenta di ulteriori 40-50 chilometri, per arrivare a oltre 70-100 chilometri rispetto a quello misurato in luce visibile se osservato nell'ultravioletto estremo e nei raggi X molli.

Con questi dati gli astronomi potranno sviluppare modelli ancora più dettagliati della struttura dell'atmosfera superiore del pianeta, utili sia per eventuali missioni spaziali dirette verso Venere, sia, in prospettiva futura, per perfezionare le tecniche di osservazione multibanda delle atmosfere degli esopianeti durante i transiti davanti alle loro rispettive stelle.

Emiliano Ricci

Il rumore dello spazio-tempo

Uno dei problemi della fisica è l'unificazione della meccanica quantistica con la relatività generale, entrambe efficaci nel descrivere i fenomeni naturali, ma in ambiti diversi. La prima è in grado di descrivere il microcosmo alle scale atomiche e subatomiche, la seconda invece descrive la forza di gravità e l'universo a grande scala. I tentativi teorici di conciliazione di queste due teorie sono numerosi, ma ancora nessuno ha prodotto risultati significativi. Da qualche tempo però alcuni esperimenti mirano a indagare la struttura dello spazio-tempo alle scale microscopiche. Lo scopo è individuare a quale scala questo cambi natura, passando da continuo (come descritto dalla relatività generale) a «granuloso», come previsto dalle diverse teorie di gravità quantistica, secondo cui alla scala di Planck (10^{-35} metri) lo spazio-tempo dovrebbe manifestare la propria natura discontinua. L'ultimo risultato in ordine di tempo è stato pubblicato su «Nature Communications» dal gruppo dell'esperimento HUMOR (Heisenberg Uncertainty Measured with Opto-mechanical Resonators), guidato da Francesco Marin, dell'Istituto nazionale di ottica del Consiglio nazionale delle ricerche di Firenze.
I ricercatori, pur non essendo ancora arrivati alle scale dimensionali in cui si può iniziare a osservare la granularità attesa, hanno comunque migliorato di molti ordini di grandezza i precedenti limiti superiori a effetti di gravità quantistica. In particolare, per determinare il parametro che quantifica la «deviazione» dalla meccanica quantistica tradizionale connessa a questi effetti, il gruppo ha usato un esperimento «da tavolo» in grado di compiere misure precise di spostamenti microscopici e tempi di oscillazione di oscillatori con masse comprese fra qualche nanogrammo e qualche milligrammo. Così, grazie a laser e sensori elettromagnetici, usati in pratica come «microspie», i ricercatori hanno provato ad ascoltare il rumore prodotto dalle fluttuazioni quantistiche dello spazio-tempo. Il gruppo sta già lavorando per migliorare ulteriormente la sensibilità dell'esperimento.

Emiliano Ricci

Marte, l'acqua c'era e forse ci sarà ancora

Si aggiunge un altro tassello nel puzzle sempre più completo della storia dell'acqua su Marte. È opinione condivisa fra gli scienziati che sul Pianeta Rosso c'è stata acqua allo stato liquido, ora una ricerca pubblicata su «Nature Communications», a prima firma di Tjalling de Haas dell'Università di Utrecht nei Paesi Bassi, suggerisce che probabilmente ci sarà ancora.
de Haas e colleghi hanno analizzato le immagini delle distribuzioni di sedimenti nel cratere Istok di Marte confrontandole con formazioni simili sulla Terra. Gli autori hanno così stabilito che i sedimenti marziani sono di fatto identici a quelli terrestri e testimoniano l'azione di flussi di acqua. Osservando come queste distribuzioni si sono stratificate nel tempo, i ricercatori hanno inoltre ricostruito parte del paleoclima marziano: come sulla Terra, anche su Marte si sono alternati periodi freddi e secchi, caldi e umidi. Il responsabile del susseguirsi di ere glaciali e interglaciali, anche sulla Terra, è l'inclinazione dell'asse del pianeta, che su Marte è variata in maniera molto più marcata rispetto al nostro pianeta, che ha la Luna a stabilizzarlo nell'orbita.
È dunque possibile, come spiega Susan Conway della Open University, altro autore dello studio, che fra qualche centinaia di migliaia di anni Marte torni in un periodo umido.

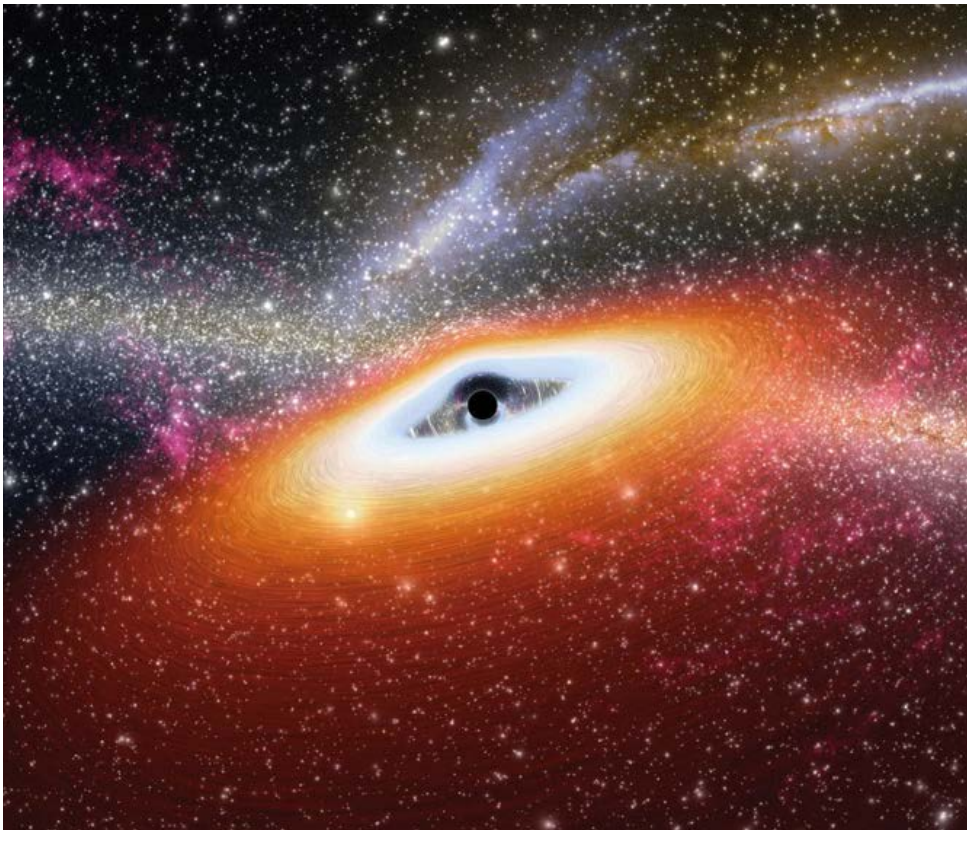
Federica Sgorbissa

Cortesia NASA/JPL

FISICA TEORICA

Dal firewall alla fuzzball

Una nuova ipotesi sulla superficie dei buchi neri cerca di risolvere una lunga controversia



NASA/JPL-Caltech/Corbis

I buchi neri non sono avvolti da un «muro di fuoco». Ad affermarlo, in un articolo pubblicato a giugno sull'archivio *on line* ArXiv, è Samir Mathur, della Ohio State University. Qui il fisico si oppone alla «teoria del *firewall*», proposta nel 2012, secondo cui alla superficie di un buco nero dovrebbe crearsi uno stato altamente energetico. Un osservatore in caduta libera verso l'orizzonte degli eventi potrebbe dunque misurare l'aumento di temperatura via via che si avvicina alla superficie del buco nero.

Purtroppo il modello del «firewall», per quanto in grado di risolvere un'apparente inconsistenza nell'ipotesi di complementarietà dei buchi neri (una delle possibili soluzioni proposte al loro paradosso dell'informazione, originato dalla teoria dell'evaporazione di Hawking), viola il principio di equivalenza di Einstein. Secondo questo principio, infatti, un osservatore in caduta libera non dovrebbe rilevare nessun effetto locale dovuto alla gravità.

Per ovviare a questo problema, Mathur ha sviluppato ulteriormente la sua teoria della «*fuzzball*», proposta per la prima volta nel 2002, con cui descrive i buchi neri come «gomitoli» di stringhe cosmiche, risolvendo in un colpo solo i problemi del loro contenuto di informazione e della singolarità al loro centro. In pratica, secondo questo modello, sviluppato applicando la teoria delle stringhe ai buchi neri, questi oggetti celesti non avrebbero una superficie liscia, ma estremamente «irregolare», da cui il nome di «fuzzball».

Ora, secondo i nuovi calcoli teorici elaborati dal ricercatore, la «fuzzball» non ha bisogno di avere un orizzonte degli eventi trasformato in «firewall» per risolvere il paradosso dell'informazione dei buchi neri, ovvero l'apparente perdita di informazione connessa al passaggio della materia attraverso la frontiera del buco nero, in violazione ai principi della termodinamica. Per Mathur, infatti, ogni buco nero è e rimane diverso dall'altro, proprio perché ciascuno continua a conservare tutta l'informazione che ha attraversato il suo orizzonte degli eventi. Chi avrà ragione? Non resta che aspettare la prossima puntata di questa lunga controversia scientifica.

Emiliano Ricci

Divoratori di materia oscura

Nemmeno l'inafferrabile materia oscura sfugge al letale abbraccio gravitazionale di un buco nero, il cannibale cosmico che ingoia tutto quello che gli capita a tiro. Lo dimostra una simulazione realizzata da Jersey Schnittman, ricercatore del Goddard's Space Flight Center della NASA. Lo studio, pubblicato su «The Astrophysical Journal», mostra inoltre che le collisioni tra particelle di materia oscura che si muovono nel campo gravitazionale di un buco nero emettono radiazione gamma osservabile. Nella simulazione, la materia oscura è composta da *weakly interacting massive particles* (WIMP), tra i principali candidati come costituenti di questa forma di materia, a cui i fisici del CERN di Ginevra danno la caccia con l'acceleratore Large Hadron Collider. Il sistema analizzato dalla NASA nella simulazione costituisce un vero e proprio laboratorio naturale, molto più estremo ed efficiente di quelli terrestri, per lo studio della fisica dei buchi neri supermassicci - grandi milioni o miliardi di volte il Sole - e della materia oscura. Uno strumento in più nelle mani degli astrofisici, per rilevare in futuro segnali di questa sfuggente forma di materia che compone circa un quarto dell'universo.

Davide Patitucci

GENETICA

Genomi uguali, epigenomi diversi

Realizzata la più approfondita mappatura epigenomica di numerosi organi del corpo umano

Tutte le cellule dello stesso individuo hanno identico genoma. Tuttavia, i loro profili epigenetici possono variare in maniera considerevole in base al tipo di organo in cui si sviluppano e svolgono le proprie funzioni. È il risultato di uno studio su «Nature» che ha realizzato la più approfondita mappatura epigenomica umana, mediante l'analisi di tutte differenze a livello di metilazioni al DNA tra ben 18 organi del corpo umano, prelevati da quattro individui diversi.

Alla base dei processi epigenetici c'è la metilazione delle catene nucleotidiche, che consiste nel legame di molecole, i gruppi metile, con le basi azotate del DNA e che può avere profonde conseguenze sull'attivazione dei singoli geni, determinando quindi fenotipi diversi a parità di genotipo. Sebbene intensità e posizione delle metilazioni dipendano da fattori esogeni, come età degli individui e condizioni ambientali, lo studio mostra una sorprendente regolarità nella presenza di gruppi metile nei medesimi organi di soggetti differenti. Inoltre, il livello di metilazione varia considerevolmente tra organi diversi, con intensità minima nel pancreas e massima nel timo, anche se le ragioni di questa variabilità sono ignote. Un'ulteriore conferma è che la grande maggioranza dell'aggiunta dei gruppi metile avviene a carico di sequenze nucleotidiche di tipo guanina-citosina. I risultati però indicano anche cospicui livelli di metilazione in corrispondenza di altri nucleotidi, fenomeno conosciuto finora solo in tessuti embrionali, nelle cellule nervose e in quelle staminali, suggerendo la possibile esistenza di cellule pluripotenti negli organi umani adulti.

Nel complesso, questo approfondito atlante epigenomico costituisce una pietra miliare per la conoscenza del funzionamento del corpo umano, al pari della prima mappatura del genoma, e fornisce un prezioso strumento in svariati campi, comprese discipline diagnostiche e terapeutiche.

Andrea Romano

Pulse/Corbis (*modello di DNA*); Edith Held/Corbis (*bambino*)

Più alti e più svegli con genitori poco affini

Sposata la cugina, Charles Darwin era preoccupato: la loro consanguineità avrebbe minato la salute dei figli? I timori del naturalista britannico si sarebbero placati se avesse potuto leggere quanto pubblicato su «Nature» da Jim Wilson, genetista di popolazioni all'Università di Edimburgo, in collaborazione con dozzine di centri internazionali, inclusi dieci italiani. Analizzando un centinaio di studi genomici su comunità sparse fra Europa, Africa, Asia e Nord America, per un totale di 350.000 soggetti, Wilson ha verificato gli effetti dell'omogeneità genetica di un individuo: la sua cosiddetta omozigosità, una misura della quantità di coppie di alleli uguali, ovvero versioni alternative di un gene che controllano la variazione di uno stesso carattere, segno di una parentela più o meno lontana fra i genitori.

Il ricercatore ha appurato che a differenza di quanto si temeva, e di quanto accade negli incroci tra parenti stretti, una consanguineità lontana non ha effetti apprezzabili su fattori importanti per la salute come pressione arteriosa o livelli di colesterolo LDL. I soli tratti influenzati sono capacità polmonare, statura, abilità cognitive generali e livello di istruzione raggiunto. Su questi caratteri gli effetti sono piccoli ma apprezzabili: se i genitori hanno l'affinità genetica di due cugini di primo grado, come nel caso di Darwin, i figli in media saranno più bassi di 1,2 centimetri e avranno dieci mesi in meno di scolarizzazione.

Il crescente rimescolamento delle popolazioni umane, quindi, sotto questo aspetto giova alla specie, rendendoci mediamente più intelligenti (oltre che più alti). Tanto che il fenomeno è stato chiamato in causa per spiegare il cosiddetto effetto Flynn, ovvero l'aumento dell'intelligenza media nel tempo che si registra dal secolo scorso. L'effetto è ascritto soprattutto alle migliori condizioni di vita e di istruzione, ma un piccolo ruolo potrebbe averlo anche l'eterogeneità genetica.

Secondo Wilson, i risultati fanno pensare che l'evoluzione umana abbia favorito tratti come statura e abilità cognitive, e non la propensione alle malattie croniche oggi diffuse. Il suo gruppo di ricerca intende ora indagare più fondo quali specifiche regioni del genoma beneficiano di più della varietà.

Giovanni Sabato

ENERGIA

Più elettricità in un mondo più caldo

L'aumento della temperatura media della Terra farà crescere la domanda e il costo dell'elettricità

È noto che il modo attuale di produrre energia elettrica sia una delle cause principali del riscaldamento globale, perché genera una grande quantità di anidride carbonica, noto gas serra. Meno frequentemente si pensa al fatto che l'aumento di temperatura, almeno alle medie e basse latitudini, potrebbe portare a un aumento nella richiesta di energia elettrica, soprattutto per le attività di condizionamento degli edifici privati e commerciali. Se non si cambia il modo di produrre energia elettrica, questo innesca un circolo vizioso che porta ad aumentare sempre più la temperatura. È importante, allora, quantificare questo aumento di domanda di energia elettrica in un mondo più caldo. Ed è quello che hanno fatto James McFarland, della statunitense Environmental Protection Agency e colleghi in uno studio pubblicato su «Climatic Change».

Usando vari scenari climatici futuri, i ricercatori hanno applicato tre diversi modelli per stimare la relativa domanda di energia elettrica a confronto con uno scenario di controllo in cui questa domanda non cambia. Questo è stato fatto per gli Stati Uniti, un paese in cui un aumento di temperatura media invernale potrebbe portare a una riduzione della domanda di energia per i riscaldamenti. Una volta analizzate le condizioni di applicazione dei modelli, i risultati hanno mostrato che comunque l'accresciuta domanda estiva supera di gran lunga la diminuita domanda invernale. In particolare si è trovato che nel 2050 si avrebbe un aumento della domanda di elettricità che va dal 1,6 al 6,5 per cento rispetto a oggi.

Ciò significa che, senza azioni per rallentare l'aumento di temperatura, il costo di generazione dell'elettricità potrebbe aumentare dal 1,7 al 8,3 per cento rispetto al presente. Questa cifra è simile a quella necessaria per una diminuzione del 50 per cento delle emissioni di carbonio da parte del settore elettrico.

Antonello Pasini

Paul Souders/Corbis

codice EDIZIONI
info@codiceedizioni.it
codiceedizioni.it
facebook.com/in.codice
twitter.com/codice_codice
pinterest.com/codice_codice

JACOPO PASOTTI
LA SCIENZA IN VETTA
EURO 16,00

ANDREA GENTILE
LA SCIENZA SOTTO L'OMBRELLONE
EURO 18,00

DALLA VETTA DELLE MONTAGNE A FONDOVALLE, PER ARRIVARE IN RIVA AL MARE,
E GIÙ NELLE PROFONDITÀ DEGLI OCEANI. DUE LIBRI ILLUSTRATI, RICCHI DI CURIOSITÀ E ANEDDOTI.
DEDICATI A CHI SI CHIEDE SEMPRE IL PERCHÉ DELLE COSE.

BIOLOGIA

I batteri che ridisegnano l'albero della vita

Un nuovo gruppo di microrganismi aggiunge un altro ramo alla classificazione dei viventi

Così come lo conosciamo, l'albero della vita ha tre domini: eucarioti, batteri e Archaea. Ma la descrizione di un nuovo gruppo di microrganismi per opera di un team di ricerca coordinato da Jillian Banfield dell'Università della California a Berkeley aggiunge un nuovo ramo e complica la classificazione dei viventi.

Il nuovo gruppo, ribattezzato CPR (*candidate phyla radiation*), comprende oltre 35 phyla (più del 15 per cento di tutti i gruppi attualmente conosciuti di batteri) con caratteristiche peculiari tra cui le piccole dimensioni (si tratta di organismi lunghi 400 nanometri) e un genoma molto breve, che racchiude dai 600 ai 1100 geni.

Forse è per questo, si legge su «Nature», che non si è mai riusciti a «coltivarli» in laboratorio: avendo un DNA così ridotto in termini di geni funzionali, è probabile che dipendano da altre forme di vita per sopravvivere, da cui l'impossibilità di allevarli da soli, un ostacolo che finora aveva impedito ai ricercatori di studiarli e caratterizzarli come nuovo gruppo. Oggi è stato possibile, grazie a un campionamento molto fine dei microrganismi presenti nelle acque sotterranee di un sito in Colorado.

Adottando un approccio metagenomico, cioè analizzando l'insieme dei genomi degli organismi presenti in un campione ambientale, i ricercatori sono riusciti ad assemblare il genoma completo di quattro nuovi phyla e quasi tutto il DNA (più del 90 per cento) di altri 789 batteri.

Dall'analisi sono emerse caratteristiche che fanno di CPR un gruppo a sé: anzitutto, circa metà dei geni individuati non ha eguali negli altri batteri; non c'è traccia delle macchine molecolari necessarie alla sintesi di amminoacidi e nucleotidi; la produzione di energia non è affidata alla respirazione anaerobia o aerobia, così come accade nella maggior parte dei microrganismi, ma a semplici processi di fermentazione.

Ma forse la novità più sorprendente è nei ribosomi, le macchine proteiche a cui è affidata la traduzione dell'informazione genetica nelle proteine, che mancano di molte proteine presenti in tutti gli altri organismi viventi.

Martina Saporiti

L'età del Bronzo da una prospettiva genomica

L'Età del Bronzo, datata tra circa 5000 e 3000 anni fa, fu un periodo di ingenti scambi culturali, che risultò fondamentale nel determinare il futuro assetto linguistico, culturale e genetico degli abitanti dell'Eurasia. Non è ancora chiaro però se il miscuglio culturale dell'epoca fu dovuto alla semplice circolazione delle idee oppure a numerose piccole ondate migratorie che favorirono lo scambio linguistico, nonché la diffusione di alcuni tratti fenotipici ora tipici degli eurasiatici. In questo contesto si inserisce un importante studio su «Nature», che ha indagato la questione da una prospettiva genomica, mediante l'analisi dell'intera sequenza di DNA di 101 abitanti di Europa e Asia centrale del tempo.

I risultati sembrano propendere per la seconda ipotesi, mostrando uno scenario demografico piuttosto dinamico, dominato da fenomeni migratori su larga scala, seguiti spesso dal rapido avvicendamento di popoli in diverse aree. Secondo gli autori, fu proprio l'intreccio e la sostituzione di genti diverse, con il proprio bagaglio linguistico e tecnologico, le proprie organizzazione sociale e ritualità, a favorire il cospicuo scambio culturale.

Il mescolamento etnico di questo periodo fu talmente marcato che il patrimonio genetico degli abitanti dell'Europa ne risentì in maniera determinante, tanto che esiste una vera e propria demarcazione genetica tra gli abitanti vissuti nelle medesime aree prima e dopo l'Età del Bronzo. Questo risultato conferma quindi l'idea, sempre più diffusa tra gli studiosi delle antiche popolazioni umane, che la composizione genetica degli odierni europei sia di origine piuttosto recente.

Un risultato inaspettato, ma in linea con la recente acquisizione genetica di alcuni tratti fenotipici degli attuali abitanti dell'Europa, è che la tolleranza al lattosio era ancora poco diffusa tra le popolazioni dell'Età del Bronzo: questa caratteristica è infatti stata rinvenuta solamente in pochi individui. Al contrario, la pigmentazione chiara della pelle degli europei sembra essere un carattere acquisito in tempi precedenti.

Andrea Romano

cultura/Corbis (*microscopio*); Werner Forman/Werner Forman/Corbis (*statuetta*)

Y&R

Oggi puoi leggere
Le Scienze direttamente su iPad.

La nuova applicazione disponibile sull'edicola Newsstand di iPad.

Porta Le Scienze sempre con te. Scarica l'applicazione sul tuo iPad e sfoglia i migliori approfondimenti su scienza, tecnologia ed innovazione. Scegli l'abbonamento che preferisci e leggi la rivista in prova gratuita per 1 mese.

Le Scienze

Gli effetti delle specie aliene

Una delle principali conseguenze delle attività umane sulla biodiversità è l'introduzione di specie, talvolta invasive, in luoghi diversi da quelli in cui d'origine. Il fenomeno è noto, ma meno chiara è la quantificazione dei suoi effetti sulla composizione delle comunità negli ecosistemi. Uno studio globale, pubblicato su «Science», ha indagato l'argomento confrontando la distribuzione di 175 specie di molluschi gasteropodi terrestri in 56 aree del mondo prima e dopo la loro dispersione mediata dall'uomo. I risultati confermano la presenza delle specie native nei propri areali storici, ma evidenziano ugualmente che numerose specie aliene si trovano anche in regioni molto lontane dall'areale di origine.
In particolare, la diversità nella composizione delle comunità di molluschi gasteropodi prima dell'avvento degli imponenti movimenti umani sul pianeta era proporzionale alla distanza che le separava, mentre al giorno d'oggi le diverse aree analizzate sono caratterizzate da svariate specie in comune, alcune delle quali divenute cosmopolite. Il trasporto da parte dell'uomo, consapevole o meno, ha quindi abbattuto le barriere geografiche che tenevano separate specie diverse, tendendo di fatto a uniformare le comunità ecologiche mondiali. (AnRo)

Pulizia epigenetica nelle cellule germinali

L'informazione genetica è racchiusa nel DNA, ma a controllare l'espressione genica sono molecole attaccate ai nucleotidi che formano il cosiddetto epigenoma. Questo «corredo» molecolare del DNA è necessario alla corretta trascrizione dei geni, ma in alcuni casi può creare cortocircuiti nel processo di sintesi proteica.

Proprio per evitare che l'accumularsi di queste etichette molecolari danneggi le cellule delle nuove generazioni, l'epigenoma delle cellule germinali da cui si origineranno uova e spermatozoi viene quasi completamente cancellato. La scoperta, su «Cell», è di un gruppo guidato da ricercatori dell'Università di Cambridge. Analizzando campioni di tessuto embrionale umano, i ricercatori hanno osservato che dalla seconda alla nona settimana di sviluppo nelle cellule germinali si attiva una rete di geni il cui compito è inibire gli enzimi che mantengono l'epigenoma in funzione finché quasi tutto il DNA viene ripulito come fosse un hard disk da ricaricare con nuovi dati.

A rimanere fuori da questa «pulizia» è un 5 per cento di genoma che contiene geni molto attivi nelle cellule neuronali e con un ruolo importante per lo sviluppo embrionale. Ma in questa percentuale ci sono anche geni potenzialmente dannosi perché associati a obesità, schizofrenia e disturbi metabolici. (MaSa)

Com'era Hallucigenia?

Nuove analisi di uno degli organismi fossili più bizzarri mai scoperti – tanto da meritare il nome di Hallucigenia – hanno definitivamente distinto la sua testa dalla coda e scoperto altri sorprendenti dettagli. Per decenni questo invertebrato marino lungo 10-50 millimetri, che viveva sui fondali del Cambriano mezzo miliardo di anni fa, è stato un rompicapo per i paleontologi. Le sette paia di zampe che terminano con artigli erano state scambiate per tentacoli sulla schiena, le coppie di lunghe spine dorsali erano credute zampe e la testa era stata confusa con la coda.

Esaminando al microscopio elettronico i famosi fossili di Burgess, in Canada, ricercatori inglesi e canadesi hanno individuato la testa, con un paio di occhi semplici, una bocca coronata da denti e una gola anch'essa munita di denti aghiformi. La scoperta, pubblicata su «Nature», rivela che Hallucigenia e altri antenati degli Ecdisozoi, animali che fanno la muta, erano molto più complessi di quanto si credesse. (EuMe)

SJames Hager/Robert Harding World Imagery/Corbis (*Achatina fulica*); Martin R. Smith/Nature (*Hallucigenia*); RF Pictures/Corbis (*scimpanzé*)

Il metapensiero dello scimpanzé

Una delle caratteristiche della nostra mente «superiore» è la metacognizione, la capacità di ragionare su ciò che sappiamo o non sappiamo. Lo psicologo Michael Beran, della Georgia State University, ha cercato di capire se ce l'abbiano anche gli scimpanzé. Per farlo, come ha scritto su «Cognition», ha organizzato un test in cui tre scimpanzé ricevevano un premio in cibo ricordando correttamente alcune figure viste prima.
La difficoltà del test variava, dando più o meno tempo per memorizzare le figure, mentre la conferma di aver vinto il premio appariva sempre con un breve ritardo sulla risposta data. Il cibo, inoltre, veniva consegnato in un punto lontano dal luogo del test, e gli animali avevano solo pochi secondi per correre a recuperarlo.
I risultati dei test hanno mostrato che quando il test era facile, e quindi gli scimpanzé erano più sicuri di averci azzeccato, era più probabile che corressero a prendere il premio ancora prima di avere la conferma ufficiale, mentre con i test più difficili era più probabile che attendessero la conferma. Le loro azioni, quindi, dipendevano da ciò che sapevano di sapere. Questo, secondo Beran, «dimostra che gli scimpanzé condividono con noi la metacognizione, anche se non sappiamo se ne abbiano la nostra stessa esperienza cosciente: potrebbe trattarsi di una forma di controllo cognitivo più automatico, che aiuta a prendere le decisioni». (AlSa)

Buone notizie sui coralli

Le barriere coralline sono minacciate in tutto il mondo dal riscaldamento dei mari che ne provoca lo sbiancamento, cioè la perdita delle alghe simbionti che vivono all'interno dei polipi. Ma buone notizie vengono da uno studio pubblicato su «Science» da ricercatori americani e australiani. Alcuni coralli sono più tolleranti al calore grazie a varianti genetiche che potrebbero essere diffuse nella popolazione con l'aiuto umano.

I ricercatori hanno incrociato coralli della Grande Barriera Corallina australiana con altri provenienti da latitudini più fresche, quasi 300 miglia a sud. Le larve con genitori del nord, dove le acque sono più calde di due gradi, sono infatti fino a 10 volte più resistenti allo stress termico, rispetto a quelle con genitori del sud. Usando strumenti genomici, i ricercatori hanno identificato i processi biologici responsabili della tolleranza al calore e hanno dimostrato che questo adattamento potrebbe evolvere rapidamente in popolazioni a rischio. (EuMe)

Nuove «corsie» nei circuiti fotonici

Una nuova via per la costruzione di circuiti integrati fotonici ancora più piccoli e compatti. L'ha scoperta un team del Lawrence Berkeley National Laboratory dell'Università di Berkeley grazie a un nuovo tipo di guide ottiche su scala nanometrica. I ricercatori sono infatti riusciti a «impacchettare» le guide di luce, il corrispettivo «fotonico» dei fili elettrici, senza che i segnali luminosi interferissero fra loro. Come spiegato su «Nature Communications», la nuova tecnologia permetterà di costruire circuiti ancora più efficienti, riuscendo a inviare impulsi luminosi molto vicini fra loro e aprendo la strada a dispositivi ottici ancora più complessi e strutturati.

Uno dei problemi principali nell'usare guide di luce molto vicine è il cosiddetto *cross talk*, in cui i diversi canali «parlano» fra loro a causa di segnali luminosi che si diffondono all'esterno delle guide stesse.

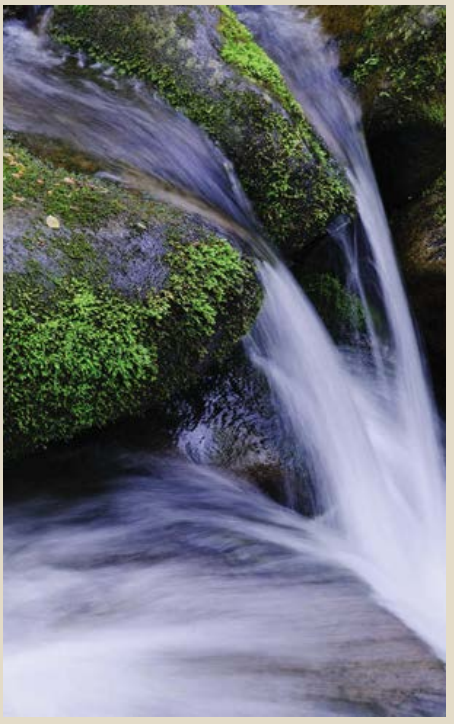
Per ridurre questo fenomeno gli scienziati hanno sviluppato un sistema detto «eliminazione adiabatica», che si basa sulla presenza di un'ulteriore guida per raccogliere il segnali luminosi che si diffondono all'esterno delle guide di luce. Questa terza guida di luce si comporterebbe cioè come una «corsia» in più per raccogliere i segnali in eccesso senza che questi vadano a generare effetti di cross talk. (MaRa)

Acqua di falda in crisi

La situazione globale dell'acqua di falda, la più usata per l'irrigazione, è critica. Lo rivela Jay Famiglietti, idrologo del Jet Propulsion Laboratory della NASA, usando i dati dei satelliti Grace, in grado di misurare con precisione l'entità puntiforme della gravità terrestre, che dipende anche dalla massa di acque sotterranee presenti nelle falde.

Incrociando i dati raccolti fra 2003 e 2013 sui cali di massa dovuti ai prelievi di acqua e gli aumenti indotti dalla ricarica dovuta alle precipitazioni, è stato possibile capire se i 37 più importanti bacini sotterranei del mondo siano sfruttati in modo sostenibile o no. È risultato che otto di questi stanno svuotandosi senza quasi ricarica, mentre altri cinque sono troppo sfruttati, anche se hanno la possibilità di ricaricarsi.

Le falde in condizioni peggiori sono quelle sotto Nord Africa, Medio Oriente, bacino dell'Indo e Imperial Valley in California. Criticità meno estreme sono nel sud degli Stati Uniti, Cina orientale, Europa centrale e Australia nord-occidentale. Il metodo gravimetrico non dà però informazioni sulla quantità di acqua disponibile, quindi non si sa quando le falde stressate si esauriranno. (AlSa)



Vasi linfatici che arrivano al cervello

Alla luce delle conoscenze attuali può apparire un'affermazione senza senso, ma la mappa del nostro organismo ha ancora territori del tutto inesplorati.

A confermarlo è l'inaspettata scoperta di un collegamento diretto tra sistema immunitario e cervello: una fitta rete di vasi linfatici che affianca i seni venosi della dura madre, la meninge più esterna a protezione dell'encefalo, e sta rivoluzionando nozioni di anatomia rimaste più o meno inalterate da oltre un secolo. La posizione «nascosta» di

questi vasi è uno dei motivi che ne aveva impedito la scoperta, contribuendo all'idea dell'assenza di un classico apparato di drenaggio linfatico all'interno del sistema nervoso centrale. Come si legge su «Nature», i ricercatori sono riusciti a individuare la nuova struttura grazie a un metodo innovativo per osservare i tessuti al microscopio, ossia il trattamento (fissazione) dell'intero organo, in questo caso il cervello, prima che sia sezionato nelle sue singole parti. Inoltre sostengono che il malfunzionamento dei vasi linfatici delle meningi potrebbe essere coinvolto in diversi disturbi neurologici, *in primis* sclerosi multipla e morbo di Alzheimer, in cui un'alterata risposta immunitaria ha un ruolo fondamentale. (MaMa)

Beverly Factor/Photex/Corbis (*corallo*); 3d4Medical.com/Corbis (cervello); Daniel Grill/Tetra Images/Corbis (*torrente*)

ASTRONOMIA

Tutta la luce di tutti i tempi

Galassie in ogni angolo del cosmo emettono fotoni fin dalla nascita del tempo. Ora gli astronomi iniziano a decifrare questa luce di fondo extragalattica

di Alberto Domínguez, Joel R. Primack e Trudy E. Bell

IN BREVE

Il cielo notturno sembra buio, ma in realtà è pervaso dalla luce cumulativa di tutte le galassie della storia dell'universo.
Questa luce di fondo extragalattica è difficile da rilevare perché si è diffusa in tutto il cosmo in espansione e perché è sopraffatta da quella di fonti luminose vicine.
Gli astronomi sono finalmente riusciti a misurare questa luce osservando come si attenuano i raggi gamma di blazar, brillanti galassie lontane, quando collidono con i fotoni della luce extragalattica di fondo.
Studiando il fondo in questo modo si riescono a esaminare le tracce della storia cosmica conservate dalla luce.

Caleb Charland

Perché di notte il cielo è scuro?

Alberto Domínguez ha una posizione postdoc nel Dipartimento di fisica e astronomia della Clemson University, dove studia l'evoluzione delle galassie e la cosmologia.

Joel R. Primack è professore emerito di fisica all'Università della California a Santa Cruz. È uno dei fondatori delle teorie moderne su cosmologia, materia oscura e galassie.

Trudy E. Bell è stata redattrice di «Scientific American» e «IEEE Spectrum».

Dopo tutto, se nell'universo ci sono miliardi di galassie, in ciascuna delle quali orbitano miliardi di stelle da miliardi di anni, perché il cosmo non dovrebbe essere pieno di luce? Negli anni venti dell'Ottocento l'astronomo tedesco Wilhelm Olbers riflettè su questo problema, che è poi rimasto noto come paradosso di Olbers. Ma già da tempo astronomi e filosofi si erano interrogati su perché il cielo sia buio e su che cosa questa oscurità ci dica sulla natura dell'universo. Di fatto, quegli studiosi si erano scontrati con una questione di autentica profondità.

In giro c'è più luce di quanta se ne possa vedere con facilità. Addirittura nello spazio più remoto, lontanissimo dalle luci terrestri e dalle stelle della Via Lattea, il cielo delle distese intergalattiche non è completamente nero. È soffuso di quella che viene chiamata luce di fondo extragalattica (*extragalactic background light*, EBL). L'EBL è composta da tutti i fotoni emessi da tutte le stelle e galassie esistite, su tutte le lunghezze d'onda dall'ultravioletto all'infrarosso lontano, in tutta la storia cosmica fino a oggi. L'EBL delle galassie remote è fioca perché lo spazio extragalattico è immane a confronto con il numero di galassie che splendono oggi (o che lo hanno fatto in passato). Dato che l'universo è in espansione, i fotoni emessi dalle galassie nel corso della storia del cosmo si sono sparsi nello smisurato volume dello spazio, e così si sono «diluiti». A causa di questa espansione, la luce delle galassie distanti subisce uno «spostamento verso il rosso»: la lunghezza d'onda aumenta, sospingendo la luce verso l'estremità rossa dello spettro elettromagnetico, al di fuori della banda visibile.

Gli astronomi hanno chiaro da tempo che questo fondo luminoso extragalattico debba esistere, ma non erano in grado di misurarlo con precisione. Tra il 2012 e il 2013, per la prima volta, alcuni ricercatori (tra cui due degli autori, Domínguez e Primack) sono riusciti a quantificare in modo preciso la luce di fondo extragalattica usando i dati relativi ai raggi gamma del telescopio spaziale Fermi e i rivelatori a terra di raggi gamma ad altissima energia detti telescopi atmosferici Čerenkov. Uno degli aspetti interessanti è che, dato che il maggior contributo all'EBL viene dalle stelle, sia direttamente come luce stellare che attraverso il riscaldamento della polvere che poi irraggia a lunghezze d'onda maggiori, questo fondo conserva la «memoria» della formazione delle stelle in epoche diverse nel corso della storia dell'universo. Le misurazioni dell'EBL ci permettono così di esplorare l'evoluzione delle galassie dai tempi più antichi a oggi. Un giorno ci potrebbero anche permettere di studiare la nascita, più di 13 miliardi di anni fa, delle prime galassie, la cui luce è troppo fioca per poterla osservare direttamente con i telescopi attuali.

I fondi cosmici

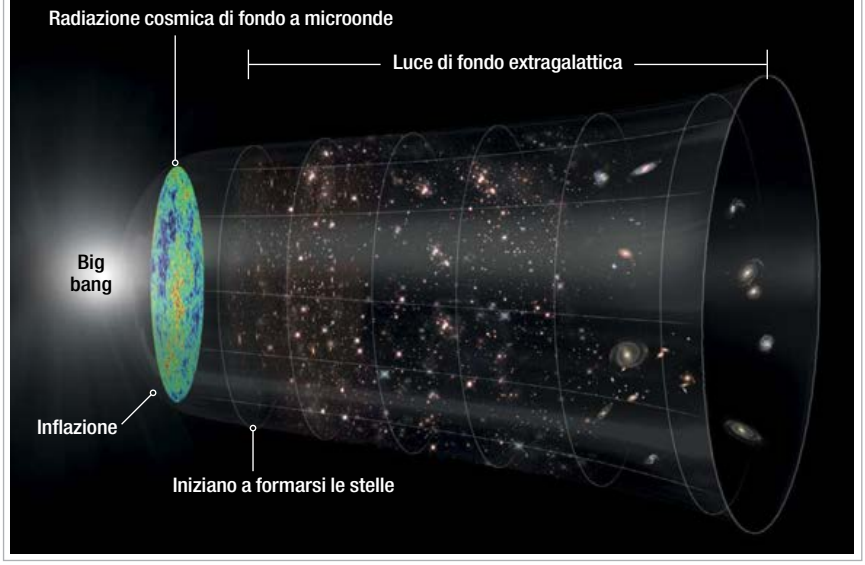
Il paradosso di Olbers fu essenzialmente un quesito filosofico fino agli anni sessanta del Novecento, quando alcune scoperte astronomiche fenomenali su tutto lo spettro elettromagnetico trasformarono la cosmologia da una disciplina fatta di congetture a una scienza solida, basata sulle osservazioni. Si cominciò a scoprire un repertorio di oggetti bizzarri dentro e fuori dalla nostra galassia. L'universo, si cominciò a capire, è pieno di un «gas» rarefatto di fotoni che sfrecciano in tutte le direzioni per lo spazio extragalattico. Questi fotoni possono avere molte lunghezze d'onda diverse, che equivalgono a molte diverse energie (lunghezze d'onda minori corrispondono a frequenze superiori e quindi a energie più elevate; le lunghezze maggiori hanno frequenze inferiori e quindi energie più basse). Questo gas comprende l'EBL, insieme a vari altri campi di radiazioni che si osservano in tutte le direzioni. Il più brillante è la radiazione cosmica di fondo a microonde (CMB), che ebbe origine dalla deflagrazione del big bang. Nel 1965 Arno Penzias e Robert W. Wilson scoprirono la CMB mentre lavoravano agli AT&T Bell Laboratories, e per questo ricevettero nel 1978 il premio Nobel per la fisica. Un altro campo di radiazioni, un fondo diffuso extragalattico di raggi X, è stato scoperto negli anni sessanta con i razzi-sonda. Alla fine degli anni sessanta un osservatorio solare in orbita scoprì un ulteriore fondo, questa volta di raggi gamma, dotati di energia maggiore.

L'EBL – il fondo cosmico che comprende le lunghezze d'onda di ultravioletto, visibile e infrarosso – è secondo per energia e intensità dopo il CMB. A differenza di esso, però, l'EBL non fu prodotto tutto insieme, ma è cresciuto nell'arco di miliardi di anni, partendo con la nascita delle prime stelle nelle prime galassie, 200 milioni di anni dopo il big bang. Anzi, via via che nascono nuove stelle, e che cominciano a splendere, continuano a contribuire all'EBL.

Misurare direttamente l'EBL rilevandone i fotoni con un telescopio è un po' come cercare di osservare la fioca fascia della Via Lattea in mezzo ai teatri e ai grattacieli illuminati a giorno di Times Square, a New York. L'EBL ha una fitta concorrenza nelle stesse lunghezze d'onda visibili e infrarosse. La Terra è all'interno di una galassia luminosissima con miliardi di stelle e immense nubi di gas risplendenti, che oscurano la luce di fondo extragalattica. E c'è anche di peggio: la Terra si trova in un sistema solare molto ben illuminato. La luce del Sole, diffusa da tutta la polvere vicina all'orbita della Terra, crea la luce zodiacale, che occupa lunghezze d'onda simili all'EBL e che è a tratti così luminosa che nei momenti giusti dell'anno, da una località buia, la si può scambiare per un'alba anticipata.

Luce di fondo extragalattica

La luce di fondo extragalattica (EBL) è composta da tutta la luce di tutte le galassie della storia dell'universo. Cominciò ad accumularsi quando si formarono le prime stelle e galassie, circa 200 milioni di anni dopo il big bang, e le nuove galassie continuano ad aggiungere la propria luce. Eppure, dato che lo spazio è tanto enorme (e in espansione), questa luce è fioca e diffusa. La radiazione cosmica di fondo a microonde (CMB) è un altro campo di radiazioni che pervade l'universo. La CMB, tuttavia, non aumenta nel tempo; si formò invece tutta insieme, circa 400.000 anni dopo il big bang.



Illustrazioni di Don Foley

Come possono sperare gli astronomi di isolare, catturare e identificare i pallidi fotoni dell'EBL quando sono sommersi dal bagliore del sistema solare e della Via Lattea? Infatti non è possibile. I telescopi terrestri e spaziali non riescono a misurare direttamente in modo affidabile l'EBL. Nel 2000 Piero Madau dell'Università della California a Santa Cruz e Lucia Pozzetti dell'Osservatorio astronomico dell'INAF a Bologna sommarono la luce proveniente dalle galassie rilevata dal telescopio spaziale Hubble. Ricordiamo che l'EBL è tutta la luce emessa nelle lunghezze dall'ultravioletto vicino all'infrarosso, inclusa sia quella che proviene dalle galassie luminose, facile da misurare, sia quella delle galassie troppo fioche per poterle osservare con i telescopi. Ma questo calcolo non comprende le galassie meno luminose né altre possibili fonti di luce e quindi fornisce solo un limite inferiore all'intensità dell'EBL a varie lunghezze d'onda.

Nel 2011 Domínguez, Primack e i nostri colleghi che si sono occupati delle osservazioni hanno fissato limiti inferiori più stretti per l'EBL, sommando i contributi osservati dai telescopi terrestri e spaziali dovuti alla luce infrarossa e visibile delle galassie vicine fino a circa 8 miliardi di anni fa: quello che gli astronomi chiamano uno spostamento verso il rosso pari a 1, poco più di metà del tempo che ci separa dal big bang. (Guardare molto lontano nello spazio equivale a guardare molto indietro nel tempo, perché vediamo gli oggetti come erano fatti quando partì la luce che adesso raggiunge i nostri telescopi: miliardi di anni fa, nel caso di galassie distanti.) Abbiamo misurato le variazioni nelle lunghezze d'onda emesse da galassie a distanze diverse, cioè in ere cosmiche diverse. Questo metodo ha permesso le migliori valutazioni dell'EBL fra quelle basate sulle osservazioni. Abbiamo calcolato stime superiori e inferiori per l'EBL anche da galassie ancora più lontane e antiche, a spostamenti verso il rosso maggiori di 1.

Per superare questi limiti, cioè per misurare davvero la luminosità della luce di fondo extragalattica, gli astronomi devono però usare un approccio diverso.

Luce in collisione

Già dagli anni sessanta gli scienziati avevano considerato l'idea di cercare l'EBL per mezzo delle sue interazioni con altre forme di luce più facili da osservare.

Si era scoperto che i fotoni possono collidere con altri fotoni. In particolare i raggi gamma ad alta energia possono collidere con fotoni a energia inferiore, come la luce delle stelle, e annichilirsi a vicenda generando un elettrone e la sua antiparticella, il positrone. Vari astronomi avevano iniziato a chiedersi che cosa sarebbe accaduto se raggi gamma ad alta energia provenienti da una fonte cosmologica lontana e diretti verso la Terra avessero colliso, strada facendo, con fotoni dell'EBL con minore energia. I fotoni dell'EBL avrebbero intercettato i raggi gamma, indebolendo la luminosità apparente della loro fonte come appare dalla Terra? L'eventuale rilevazione di questa attenuazione dei raggi gamma, pensavano gli scienziati, avrebbe rivelato la composizione dell'EBL.

La questione era rimasta puramente teorica fino al 1992, quando il rivelatore Energetic Gamma Ray Experiment Telescope (EGRET) della NASA, a bordo dell'osservatorio orbitante per raggi gamma Compton, aveva scoperto la prima di una nuova categoria di sorgenti di raggi gamma, oggetti che sarebbero stati chiamati *blazar*: galassie con al centro un buco nero supermassiccio che emette raggi gamma in intensi getti puntati verso la Terra come riflettori. I raggi gamma di questi getti hanno energia di un'intensità fenomenale, dell'ordine dei gigaelettronvolt (GeV), cioè miliardi di elettronvolt. Anzi, alcuni blazar, come Markarian 421 (abbreviata in Mrk 421), emettono raggi gamma a energie impensabilmente elevate: 20.000 miliardi di elettronvolt (20 TeV), cioè circa cento milioni di volte i raggi X per uso medico.

Il blazar Mrk 421, a una distanza di circa 400 milioni di anni luce, è relativamente vicino, considerando le scale extragalattiche. Ma la scoperta, negli anni novanta, di una sorgente di raggi gamma così potente aveva spinto Primack a chiedersi se potessero esistere analoghi blazar con un'energia nei TeV a distanze molto maggiori, utili quindi per la rilevazione dell'EBL. E infatti nel corso degli anni successivi sono stati scoperti altri blazar che emettevano raggi gamma nell'ordine dei TeV, a distanze sempre maggiori. Capire come sfruttare i blazar per misurare l'EBL ha iniziato a impegnare Domínguez nel 2006, quando ha cominciato le sue ricerche per il dottorato all'Università di Siviglia, dove studiava le blazar con l'osservatorio di raggi gamma MAGIC.

Nel 2012 Domínguez è stato tra i quasi 150 coautori diret-

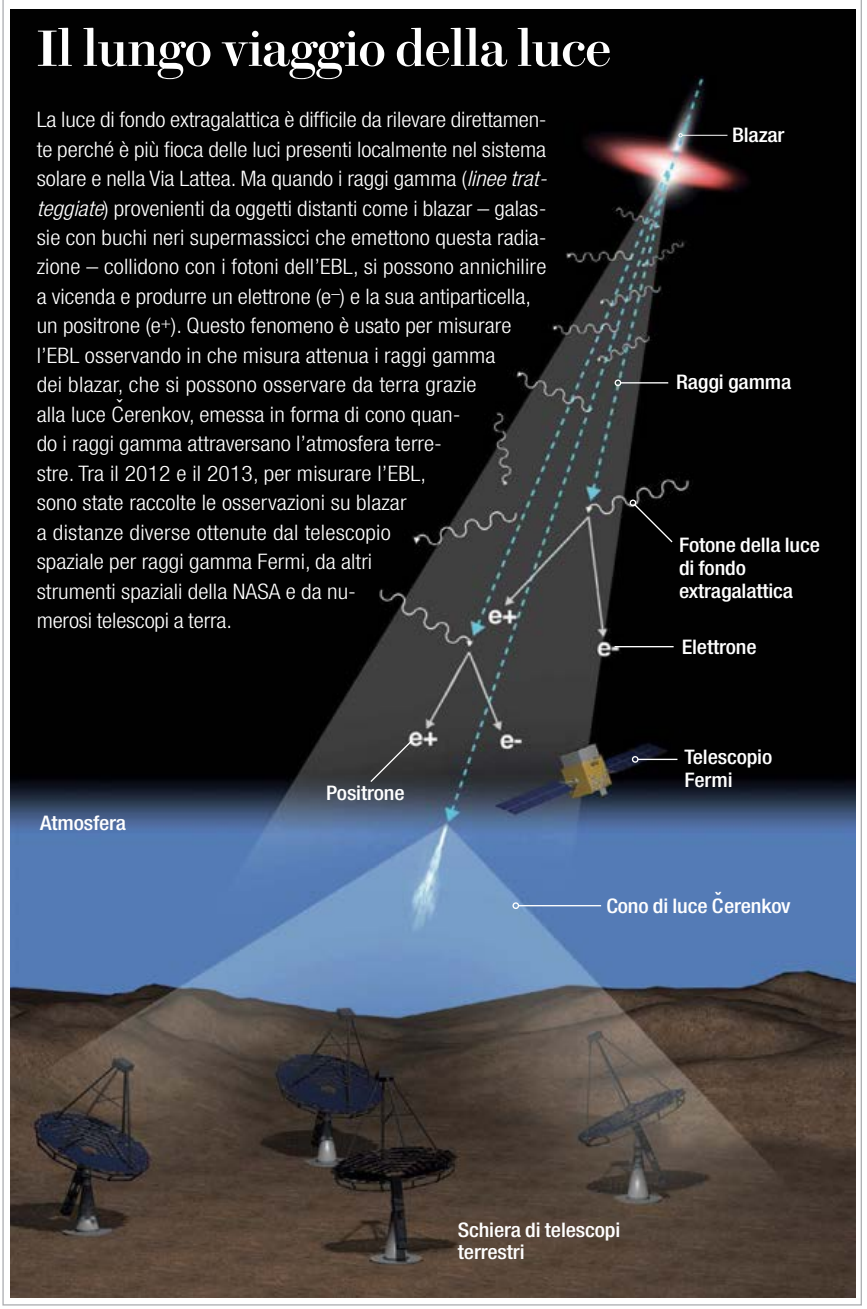
ti da Marco Ajello, oggi alla Clemson University, che hanno effettuato le prime misurazioni di quanta luce dei blazar è assorbita dall'EBL. Il gruppo ha studiato i dati del telescopio spaziale Fermi della NASA, analizzando le osservazioni di 150 blazar a distanze diverse per misurare l'entità dell'attenuazione dei raggi gamma all'aumentare delle distanze, e quindi dal fatto di attraversare un'EBL sempre più spessa. Le osservazioni sono state estese fino a uno spostamento verso il rosso pari a 1,6, corrispondente alla luce emessa quasi 10 miliardi di anni fa.

Per migliorare queste misurazioni gli astronomi avevano bisogno di un modo per capire meglio la natura intrinseca delle blazar, e quindi per sapere quanti raggi gamma delle varie energie vengano prodotti da un blazar prima che alcuni siano assorbiti dalle collisioni con i fotoni dell'EBL lungo miliardi di anni luce di spazio extragalattico.

Il modo migliore per stimare l'emissione iniziale di un blazar consiste nell'unire i modelli teorici del funzionamento dei blazar, soprattutto di come generano raggi gamma alle energie più elevate, con le osservazioni al telescopio dei raggi gamma a bassa energia e dei raggi X, che non sono assorbiti altrettanto spesso dall'EBL. Si ritiene che in molti blazar i raggi gamma ad alta energia siano generati con un processo detto *synchrotron self-Compton scattering* (SSC). Nel getto di un blazar, un fascio di elettroni e positroni ad alta energia emette raggi X interagendo con i campi magnetici. Alcuni di questi raggi X sono poi colpiti – nella cosiddetta diffusione Compton – dagli stessi elettroni ricchi di energia, passando così a energie molto più elevate e diventando raggi gamma. I modelli SSC ci permettono di prevedere l'intensità dei raggi gamma ad alta energia prima dell'attenuazione, confrontandoli con i raggi gamma a bassa energia che osserviamo.

Il lungo viaggio della luce

La luce di fondo extragalattica è difficile da rilevare direttamente perché è più fioca delle luci presenti localmente nel sistema solare e nella Via Lattea. Ma quando i raggi gamma (*linee tratteggiate*) provenienti da oggetti distanti come i blazar – galassie con buchi neri supermassicci che emettono questa radiazione – collidono con i fotoni dell'EBL, si possono annichilire a vicenda e produrre un elettrone (e^-) e la sua antiparticella, un positrone (e^+). Questo fenomeno è usato per misurare l'EBL osservando in che misura attenua i raggi gamma dei blazar, che si possono osservare da terra grazie alla luce Čerenkov, emessa in forma di cono quando i raggi gamma attraversano l'atmosfera terrestre. Tra il 2012 e il 2013, per misurare l'EBL, sono state raccolte le osservazioni su blazar a distanze diverse ottenute dal telescopio spaziale per raggi gamma Fermi, da altri strumenti spaziali della NASA e da numerosi telescopi a terra.



Infine nel 2003 Domínguez, Primack, Justin Finke del Naval Research Laboratory, Francisco Prada dell'Instituto de Astrofísica de Andalucía e altri tre autori hanno messo insieme una quantità sufficiente di osservazioni simultanee di 15 blazar a distanze cosmologiche diverse, effettuate da differenti veicoli spaziali della NASA e da vari telescopi terrestri operanti su varie lunghezze d'onda. Abbiamo confrontato i dati del telescopio spaziale per raggi gamma Fermi con l'intensità dei raggi X provenienti dagli stessi blazar e misurati dai satelliti Chandra X-ray Observatory, Swift, Rossi X-ray Timing Explorer e XMM-Newton, più le lunghezze d'onda ottiche e radio misurate da osservatori a terra.

Confrontando queste osservazioni su varie lunghezze d'onda con i modelli SSC delle emissioni dei blazar, abbiamo calcolato l'intensità originaria, non attenuata, dei raggi gamma emessi ai livelli di massima energia da nove dei blazar. Abbiamo poi confrontato questi calcoli con le misurazioni dirette dei raggi gamma attenuati provenienti dagli stessi blazar e giunti sulla Terra. E così, finalmente, abbiamo misurato l'EBL attraverso i suoi effetti sui raggi gamma di varie energie che riceviamo da blazar che si trovano a diversi spostamenti verso il rosso.

Una finestra sul passato

La rilevazione dell'EBL è stata una delle misurazioni più difficili dell'astronomia osservazionale: percepire un segnale così fioco e diffuso ha richiesto il coordinamento di persone e strumenti in tutto il mondo, per poter effettuare osservazioni simultanee di oggetti estremamente lontani, ma ci ha fornito un nuovo strumento poten-

Fonte: Nina Mccurdy e Joel R. Primack, High-Performance AstroComputing Center dell'Università della California; riquadro da un'animazione concettuale di 3C 120 creata da Wolfgang Steffen, Universidad Nacional Autónoma de México (*blazar*)

te per esplorare la storia del cosmo. Già negli anni novanta, quando gli astronomi avevano capito che i blazar potevano essere utili per studiare l'EBL, Primack e Donn MacMinn – che all'epoca era un brillante studente dell'Università della California a Santa Cruz – avevano cercato di capire se queste misurazioni potevano rivelare qualcosa sull'evoluzione delle galassie. Ancora oggi ci sono molte domande fondamentali sulla formazione delle galassie, come per esempio quanto fossero comuni le stelle massicce nelle varie fasi di sviluppo delle galassie, in che modo la polvere assorbiva la luce delle stelle e riemetteva l'energia a lunghezze d'onda maggiori e come variava il numero di stelle che si formavano nelle galassie nelle diverse epoche dell'universo. MacMinn e Primack si erano chiesti se lo studio dei raggi gamma dei blazar a diverse distanze – i raggi cioè che attraversavano quantità diverse di EBL – potesse aiutare a rispondere ad alcune di queste domande dandoci modo di scrutare epoche diverse della formazione delle stelle.

Sappiamo per esempio che le galassie lontane dell'universo delle origini hanno un aspetto molto diverso da quelle vicine: anziché essere sferoidi uniformi o magnifiche spirali, sono compatte e distorte. Queste forme irregolari derivano in parte dalle collisioni tra queste antiche galassie, dato che l'universo giovane era molto più denso di quanto lo sia oggi. Inoltre le galassie antiche emettono una percentuale maggiore della loro luce sulle lunghezze dell'infrarosso lontano, rispetto alle galassie vicine. Ne deriva che la luce EBL creata tempo addietro dalle galassie a grande distanza ha uno spettro di lunghezze d'onda diverso dalla luce EBL emessa dalle galassie recenti più vicine.

La rilevazione della luce di fondo extragalattica è stata una delle misurazioni più difficili dell'astronomia

Quindi, anche lo schema dell'energia dei raggi gamma assorbita dai fotoni dell'EBL provenienti da distanze elevate – e quindi da un passato remoto – dovrebbe differire dallo schema dell'energia assorbita da fotoni EBL vicini. In effetti, nel 1994 MacMinn e Primack avevano realizzato modelli teorici preliminari sufficienti per affermare che il fattore dominante nell'influire sulle caratteristiche dell'EBL sarebbe l'epoca in cui si era formata la galassia che emise i fotoni. Abbiamo previsto il modo in cui l'attenuazione dei raggi gamma da parte dell'EBL si sarebbe evoluto nel tempo, in base a differenti ipotesi cosmologiche. Infine abbiamo mostrato che sarebbe stato possibile usare le misurazioni dell'assorbimento di raggi gamma da sorgenti TeV a distanze diverse da parte dei fotoni EBL per scegliere tra le teorie concorrenti sull'evoluzione delle galassie.

Adesso che abbiamo le prime misurazioni dell'EBL effettuate in base all'attenuazione delle blazar, cominciamo ad analizzare i dati per costruire un quadro della formazione di stelle e galassie nel corso della storia dell'universo. Per esempio, lo spettro di lunghezze d'onda delle nostre misurazioni dell'EBL ci mostra che cosa accadde all'apice della formazione delle stelle, il «mezzogiorno di fuoco cosmico» tra 8 e 12 miliardi di anni fa. Lo spettro dell'EBL mostra due massimi: uno che rappresenta la luce ultravioletta e visibile che proviene dalle stelle e un altro, maggiore, su lunghezze d'onda maggiori, nell'infrarosso lontano. Questo secondo massimo sembra provenire dalla polvere. Sappiamo che le stelle che esplodono producono polvere (composta da elementi più pesanti, come carbonio, ossigeno e ferro), che avvolge e oscura le regioni in cui si formano le stelle; e che durante il mezzogiorno di fuoco cosmico la polvere assorbì buona parte della luce stellare, irraggiandola poi nell'infrarosso. L'EBL ci offre un modo per studiare quanto fossero comuni a quell'epoca queste galassie oscurate dalla polvere (chiamate DOG, da *dust-obscured galaxy*): è un fattore importante per capire come si formarono i pianeti rocciosi quali la Terra, visto che contengono grandi quantità di polvere cosmica.

Guardiamo verso il futuro

Quando le osservazioni da strumenti diversi confermano le previsioni, realizzare un sogno vecchio di oltre vent'anni è un'esperienza impagabile. E poi è entusiasmante esplorare questi nuovi dati, anzi questo nuovo strumento cosmologico, per vedere che cosa ci rivela l'evoluzione dell'EBL su quella dell'universo.

Le future ricerche sull'EBL potrebbero dirci qualcosa su fasi precedenti della storia dell'universo. Se si riuscissero a estendere le nostre osservazioni dell'EBL in modo da includere altre fonti di raggi gamma a spostamenti verso il rosso superiori, gli astronomi potrebbero studiare il modo in cui l'universo si reionizzò (quando la luce ultravioletta delle prime stelle espulse gli elettroni dagli atomi di idrogeno) durante il primo miliardo di anni dopo il big bang. Questo è uno dei principali obiettivi del nuovo, enorme Cherenkov Telescope Array, in corso di progettazione e che sarà composto da installazioni nell'emisfero settentrionale e in quello meridionale, con strumenti diversi in modo da poter rilevare i raggi gamma dalle basse energie a quelle elevatissime. E una volta che avremo compreso e quantificato meglio l'EBL, potremo sottrarne l'attenuazione dalle osservazioni dei blazar e dei lampi di raggi gamma, in modo da descrivere più compiutamente la natura di questi oggetti esotici.

L'intensità dell'EBL misurata indirettamente con la nostra tecnica basata sull'attenuazione dei raggi gamma è compatibile con quella stimata osservando le galassie di epoche cosmiche precedenti. Questa concordanza significa che sia proprio la luce emessa dalle galassie sulle lunghezze d'onda ottiche e dell'infrarosso vicino la responsabile delle osservazioni dell'EBL effettuate mediante l'attenuazione dei raggi gamma, e ci aiuta ad archiviare i conti.

Con il migliorare delle osservazioni, la coincidenza tra queste misurazioni diverse risulterà ancora più precisa – ponendo vincoli sulla presenza di fonti luminose alternative nell'universo (per esempio il decadimento di ipotetiche particelle residue del cosmo delle origini) – oppure emergeranno discrepanze che segnaleranno nuovi fenomeni (per esempio ipotetiche particelle esotiche che si trasformano in raggi gamma). Le strutture esistenti e il Cherenkov Telescope Array dovrebbero portare a migliori rilevazioni dei raggi gamma. Inoltre i progressi nell'osservazione delle galassie, anche grazie a osservatori futuri come il James Webb Space Telescope, il Large Synoptic Survey Telescope e i telescopi terrestri da 30 metri, ci aiuteranno a capire meglio come si formarono.

Conosciamo la soluzione al paradosso di Olbers. Il cielo notturno non è buio: è pieno del luce diffusa di tutte le galassie esistite, anche se non lo si osserva con facilità. E ogni momento esplodono supernove, splendono nubi di gas e nascono stelle, aggiungendo luce al fondo che riempie ogni centimetro cubo del cosmo. ■

PER APPROFONDIRE

Detection of the Cosmic γ-ray Horizon from Multiwavelength Observations of Blazars. Domínguez A. e altri, in «Astrophysical Journal», Vol. 770, n. 1, articolo n. 77, 10 giugno 2013. **http://iopscience.iop.org/0004-637X/770/1/77/article.**

L'inventario cosmico. Hasinger G. e Gilli R., in «Le Scienze» n. 404, aprile 2002.

Wajahat Z. Mehal è direttore di programmi di ricerca sull'infiammazione e si occupa di pazienti con malattie epatiche presso il West Haven Department of Veterans Affairs Medical Center, nel Connecticut, e la Yale University.

MEDICINA

CELLULE IN FIAMME

Una struttura cellulare scoperta di recente è alla base del processo di infiammazione e potrebbe portare a nuove cure per malattie diverse tra loro, dall'aterosclerosi alla malattia di Alzheimer al fegato grasso

di Wajahat Z. Mehal

IN BREVE

Rossore, gonfiore, calore e dolore sono riconosciuti da tempo come sintomi dell'infiammazione, che può essere causata da un'infezione o da un danno tissutale.

Negli anni passati gli scienziati hanno scoperto che le cellule producono complessi molecolari chiamati inflammasomi per attivare l'infiammazione.

Sorprendentemente, molte malattie in apparenza non collegate tra loro – come Alzheimer, gotta e cardiopatie – condividono gli stessi inflammasomi.

I ricercatori sperano che questa scoperta possa portare allo sviluppo di nuovi farmaci in grado di curare in modo più efficace un vasto numero di malattie croniche.

Illustrazione di Brian Stauffer

Chiunque abbia avuto un foruncolo conosce bene il rossore dei tessuti, il gonfiore, il calore e il dolore che segnalano un'infezione in corso. Questa risposta nota con il nome di infiammazione è conosciuta fin dai tempi antichi. Tuttavia il processo infiammatorio, che spesso è attivato dalle cellule immunitarie, può verificarsi anche in caso di danno ai tessuti e addirittura in assenza di patogeni, per esempio quando urtiamo l'alluce del piede contro uno spigolo o, in situazioni più gravi, in caso di infarto.

Questa seconda condizione è conosciuta come infiammazione sterile, e quando precipita contribuisce all'insorgere di un'ampia gamma di malattie apparentemente non collegate tra loro, dal morbo di Alzheimer al diabete, fino a diversi disturbi del fegato.

Nonostante l'infiammazione cronica sia conosciuta da tempo, come anche il suo ruolo nelle malattie, in anni più recenti la ricerca ha portato alla luce informazioni sorprendenti e di grande importanza riguardo alle sue origini. Tra le più interessanti, il fatto che l'infiammazione non sia una reazione automatica ma richieda l'assemblaggio attivo di strutture molecolari prima di manifestarsi. Le cellule coinvolte nell'infiammazione costruiscono velocemente strutture chiamate inflammasomi, e le disassemblano altrettanto rapidamente, in genere entro un giorno dalla lesione. Per darvi un'idea, provate a immaginare una fabbrica che viene costruita al momento di assemblare un determinato prodotto, per essere smantellata quando la necessità del prodotto si esaurisce. Si suppone che il disassemblaggio rapido permetta all'organismo di limitare i danni. In certi casi l'infiammazione ha un ruolo utile perché elimina i patogeni e ne blocca la diffusione nell'organismo, tuttavia un'infiammazione eccessiva può danneggiare i tessuti sani circostanti, prolungando il danno originario.

La scoperta degli inflammasomi è di grande interesse non solo per i biologi, ma ha implicazioni profonde anche in campo medico. I ricercatori hanno scoperto che le alterazioni del ciclo di assemblaggio e disassemblaggio possono provocare un'infiammazione costante e dannosa. Oggi molte terapie contro dolore e gonfiore inibiscono l'attività di determinate proteine che stimolano il processo infiammatorio; le ricerche più recenti dimostrano invece che i farmaci in grado di inibire la formazione dell'inflammasoma o di indurne il disassemblaggio potrebbero impedire la produzione di queste proteine problematiche e ridurre il danno tissutale in modo nuovo. Queste terapie, somministrate da sole o con farmaci già esistenti, potrebbero aiutare a combattere le infiammazioni che non rispondono efficacemente alle cure disponibili.

Alcune recenti scoperte sul modo in cui talvolta gli inflammasomi intensificano la loro attività hanno spinto il sottoscritto e altri ricercatori in campo medico a cambiare il nostro modo di intendere le malattie del corpo umano. Invece di classificare le patologie sulla base degli specifici organi coinvolti (per esempio cuore o fegato), il nostro approccio guarda piuttosto alle strutture cellulari potenzialmente malfunzionanti: finora gli scienziati hanno identificato quattro tipi diversi di inflammasoma, ed è probabile che ne emergano altri in futuro. Uno dei vantaggi di questo cambio di prospettiva è che i ricercatori potranno iniziare a testare l'efficacia dei farmaci usati per la gotta (caratterizzata da uno specifico inflammasoma), per esempio, in pazienti con cardiopatie, caratterizzate a loro volta dallo stesso inflammasoma.

Estranei vs pericoli

La risposta infiammatoria fa parte della cosiddetta immunità innata, comunemente ritenuta la prima linea di difesa contro i germi che invadono l'organismo. Questa risposta fa sì che i globuli bianchi chiamati macrofagi e altre cellule affini migrino verso il sito dell'infiammazione e liberino proteine che provocano il gonfiore e il calore necessari per immobilizzare e indebolire i microbi. Le secrezioni attirano quindi altre cellule immunitarie verso l'area interessata. Il pus che compare nelle ferite infette è composto proprio da questi globuli bianchi.

Per anni i ricercatori hanno ritenuto che l'immunità innata avviasse questa cascata semplicemente distinguendo le sostanze «proprie» (*self*) dell'organismo da quelle «non proprie» (*non-self*). I macrofagi riconoscono determinate molecole comuni a diversi patogeni, ma assenti negli esseri umani o in altri vertebrati. Dopo essere entrati in contatto con queste molecole esterne, i macrofagi producono le proteine che innescano le fasi successive della risposta infiammatoria. Le molecole patogene esterne non appartenenti all'organismo sono note con il nome colloquiale di «segnali estranei». Charles Janeway Jr. e Ruslan M. Medzhitov, della Yale University, posero le basi della ricerca in questo settore tra la fine degli anni ottanta e la metà degli anni novanta.

In seguito però è stato dimostrato che i macrofagi sono particolarmente reattivi a determinate molecole proprie prodotte dall'organismo come l'ATP (che funziona come una specie di batteria chimica ricaricabile per le cellule) e le molecole del patrimonio ereditario, DNA e RNA. Di solito queste molecole sono rinchiuse al sicuro in diversi compartimenti cellulari, lontane dalle protrusioni tentacolari dei macrofagi, ma quando escono negli spazi intracellulari (cosa che accade per esempio quando ci si colpisce un dito della mano con il martello), diventano esposte all'azione di proteine chiamate recettori di tipo Toll e altre molecole sulle cellule immunitarie. Il nostro corpo, che non ama correre rischi, reagisce a questi segnali di pericolo dando per scontato che siano in circolazione anche agenti esterni (patogeni) e innescando la stessa risposta infiammatoria scatenata dai microbi.

Questa reazione a catena può avere conseguenze gravi, la più importante delle quali è che la risposta infiammatoria al danno cellulare può aumentare la lesione tissutale se il processo si protrae oltre il necessario.

Un interesse crescente

Nonostante il meccanismo della risposta infiammatoria sia stato ampiamente chiarito oltre 15 anni fa, nell'ultimo decennio i ricercatori hanno svelato maggiori dettagli su ciò che avviene all'interno di un macrofago prima che la sua potente reazione di difesa si scateni. In precedenza gli scienziati erano convinti

Come si accende il corpo

Con grande sorpresa dei ricercatori, tutte le cellule del corpo scatenano l'infiammazione nello stesso modo, cioè costruendo una struttura molecolare detta inflammasoma che libera composti chiamati citochine. Generalmente le citochine provocano una risposta infiammatoria normale e di breve durata, caratterizzata da rossore, gonfiore, dolore e calore.

Tuttavia diverse malattie, come il morbo di Alzheimer e la gotta, potrebbero emergere quando un inflammasoma rimane attivo per troppo tempo, a causa di fattori come la quantità di citochine prodotte e la reazione alle citochine in tessuti diversi. Tra le sostanze che attivano questo processo ci sono i cosiddetti agenti esterni (prodotti dai microbi) e i segnali di pericolo (prodotti quando il corpo viene danneggiato). La scoperta di una sequenza di interazione molecolare comune ai vari tipi d'infiammazione potrebbe permettere alle case farmaceutiche di sviluppare nuove terapie per malattie che un tempo non erano considerate collegate tra loro.

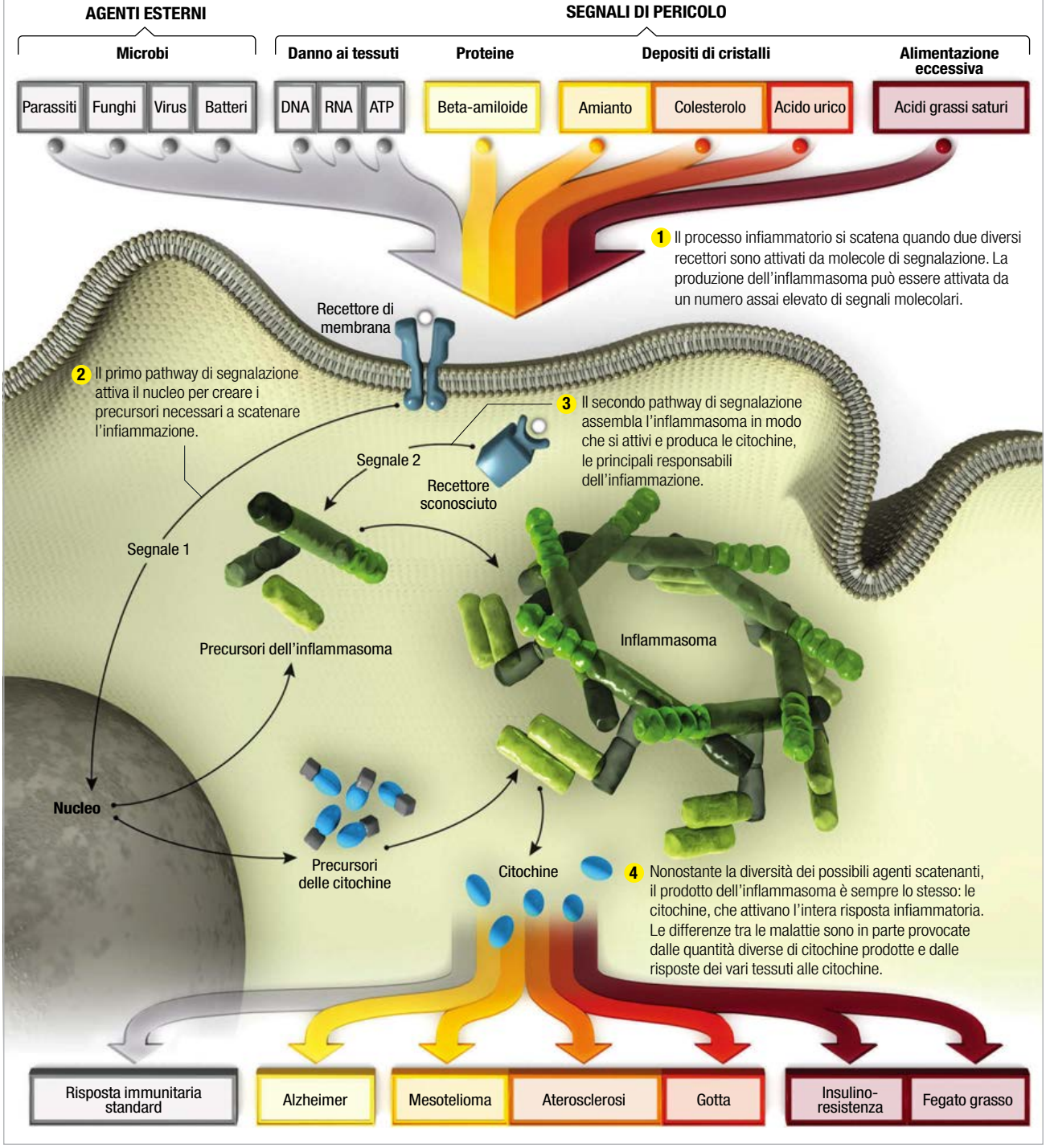


Illustrazione di Emily Cooper

che per capire appieno lo sviluppo dell'infiammazione fosse necessario identificare centinaia di segnali molecolari che colpivano dozzine di tipi diversi di cellule, macrofagi compresi. Ma concentrandosi sui macrofagi è emerso che solo poche sequenze di interazioni molecolari (chiamate anche *pathway*) erano necessarie per attivare l'allarme iniziale, e che altre cellule usavano le stesse interazioni. Potendo studiare solo pochi pathway, gli scienziati puntano a sviluppare una serie di farmaci in grado di inibire la formazione di inflammasomi o di promuoverne il disassemblaggio in un ampio numero di malattie.

Che cosa accade dunque all'interno dei macrofagi? Per cominciare, i macrofagi che si trovano nei pressi delle cellule danneggiate sono immersi in frammenti di DNA, RNA e altri segnali di pericolo (i DAMP, da *danger-associated molecular pattern*, o profili molecolari associati al danno). Alcuni di questi segnali di pericolo si legano a una particolare proteina sulla superficie esterna del macrofago mentre altre si uniscono a una sostanza diversa, la cui identità e posizione non sono ancora state chiarite. Una volta avvenuto il legame, i recettori attivano uno dei seguenti processi cellulari: il primo, che i ricercatori chiamano «signal 1 pathway», attiva la produzione di alcune molecole necessarie per indurre l'infiammazione; il secondo, il «signal 2 pathway», assembla un inflammasoma. L'inflammasoma risultante elabora le molecole infiammatorie di nuova produzione in modo da attivarle e, in seguito, le libera all'esterno del macrofago con un processo non ancora identificato dai ricercatori.

Un risultato in qualche modo inaspettato è che il prodotto di un inflammasoma dopo la sua formazione è piuttosto limitato, indipendentemente dal fatto che l'infiammazione sia attivata da un segnale di pericolo o da un agente esterno. Ognuna delle quattro strutture infiammatorie descritte finora dai ricercatori produce e rilascia principalmente due sostanze: interleuchina-1 beta (IL-1β) e interleuchina-18 (IL-18). Queste sostanze, appartenenti a un gruppo di molecole di segnalazione chiamate citochine, sono note per il loro effetto sull'infiammazione, ma prima della scoperta degli inflammasomi nessuno sapeva come fossero prodotte. Quando le interleuchine sono rilasciate, si diffondono in tutto il tessuto scatenando la produzione di altre citochine, che stimolano il flusso sanguigno nella zona, richiamano altre cellule immunitarie e provocano una serie di modifiche che unite tra loro scatenano la risposta infiammatoria.

Le differenze tra le malattie sono provocate dal tipo di segnale di attivazione, dal sito dell'attivazione dell'inflammasoma e dalla sua durata

Ma le sorprese non finiscono qui. Vari studi successivi hanno dimostrato che gli inflammasomi sono alla base di un'ampia gamma di malattie e disturbi in cui si pensava che l'infiammazione avesse solo un ruolo secondario. Di fatto, gli inflammasomi possono essere prodotti in qualsiasi tipo di cellula, non solo nei macrofagi e nelle altre cellule immunitarie (alcune cellule nell'intestino costruiscono inflammasomi che rilasciano citochine, le quali scatenano la produzione di muco in risposta a segnali di pericolo o agenti esterni). Inoltre è stato scoperto che la formazione di particelle microscopiche provochi varie malattie in diverse parti del corpo. Un inflammasoma specifico, noto come NLRP3 e trovato in molte cellule diverse, sembra essere il responsabile della maggior parte delle infiammazioni causate da questi depositi, che si tratti di amianto nei polmoni (mesotelioma) o acido urico nelle articolazioni (nel caso della gotta). Oggi la ricerca suggerisce che a provocare le modificazioni aterosclerotiche nelle arterie, che portano a infarto e ictus, non è il colesterolo di per sé, bensì la sua tendenza ad aggregarsi in cristalli sulle pareti dei vasi sanguigni in determinate circostanze.

Allo stesso modo, nell'Alzheimer l'accumulo intraneuronale del complesso proteico beta-amiloide attiva l'inflammasoma NLRP3 nelle cellule microgliali, l'equivalente cerebrale dei macrofagi, provocando la morte dei neuroni. Dall'acido urico al colesterolo, dai beta-amiloidi all'amianto, e altre ancora, sono dunque molte le sostanze che causano una serie di malattie che colpiscono organi diversi e si comportano in modi diversi, ma tutte dipendenti dagli inflammasomi.

Il ruolo inquietante del cibo

A mio avviso la scoperta più sconvolgente è che l'alimentazione sia in grado di scatenare una risposta infiammatoria. Più precisamente, il fatto che l'assunzione eccessiva di cibo in un'unica seduta provochi un episodio infiammatorio acuto capace di risolversi da solo, mentre l'ingestione regolare di eccessive calorie che porta all'accumulo di grassi nell'organismo provoca infiammazione cronica. I biologi avevano poche ragioni per sospettare una simile correlazione: le sostanze nutritive non sono molecole batteriche specifiche o particolati, e non vengono catturate all'interno delle cellule (caratteristica che le renderebbe identificabili come segnali di pericolo). Tuttavia numerosi studi condotti negli ultimi anni sugli animali hanno stabilito che alcuni nutrienti come gli acidi grassi saturi (presenti nella carne e nel formaggio e prodotti anche dal nostro organismo) possono agire come segnali di pericolo se assunti in grandi quantità e attivare direttamente l'inflammasoma NLRP3 nei macrofagi e in altre cellule. Questa scoperta ha aperto le porte a nuovi percorsi di ricerca mirati a studiare gli effetti di specifici metaboliti (i prodotti della digestione) sull'attività dell'inflammasoma. Per esempio i ricercatori hanno scoperto che il consumo eccessivo di carboidrati o altri nutrienti provoca un'infiammazione indiretta, perché il corpo deve prima convertire le quantità in eccesso in molecole di acidi grassi.

Nonostante gli organi coinvolti nell'infiammazione causata dall'eccessiva assunzione di cibo siano molti, la risposta più evidente è stata osservata nel fegato, probabilmente anche perché quest'organo assorbe molti acidi grassi. Inoltre, un fegato sano contiene molte cellule immunitarie di per sé soggette all'attivazione e in grado di provocare danni al fegato anche dopo una lieve stimolazione. Questi processi possono portare nel loro insieme a ingrossamento e infiammazione del fegato, culminando in quello che i medici chiamano fegato grasso, o steatosi epatica. Sebbene reversibile, questo disturbo può essere facilmente confuso con i sintomi di un consumo in grandi quantità di bevande alcoliche (per ragioni non del tutto chiare, la steatosi epatica può talvolta degenerare nella cirrosi, una malattia potenzialmente letale).

A questa scoperta di per sé inquietante si aggiunge il fatto che oggi circa un terzo dei bambini obesi soffre di fegato grasso, aumentando le possibilità che almeno alcuni di loro si ammalino di cirrosi all'inizio dell'età adulta. È come se un gran numero di preadolescenti soffrisse di epatopatia alcolica, causata tuttavia dalle calorie in eccesso e non dall'alcool. Se, come suggeriscono i test sugli animali, l'inflammasoma NLRP3 media l'infiammazione

dovuta alla sovralimentazione, sembra dunque probabile che una cura in grado di impedire la formazione dell'inflammasoma possa prevenire l'infiammazione e i danni al fegato nelle persone obese o sovrappeso. A sostegno di questa teoria, i ricercatori hanno dimostrato che topi obesi senza inflammasomi hanno un fegato più sano, sebbene siano soggetti a infezione.

Dato che l'alimentazione eccessiva può portare a infiammazione, con i miei colleghi della Yale University abbiamo cercato di rispondere alla domanda inversa, ovvero se quantità di cibo ridotte possano generare metaboliti in grado di limitare l'attivazione dell'inflammasoma. Poiché gli effetti antinfiammatori del digiuno e dell'attività fisica sono noti, abbiamo studiato due molecole che aumentano nell'organismo in questi due casi: acido beta-idrossibutirrico e acido lattico. Abbiamo osservato che le due molecole interagiscono con specifici recettori sui macrofagi e che, nel loro insieme, queste interazioni scatenano una serie di reazioni biochimiche nelle cellule che alla fine inibiscono i geni coinvolti nell'attivare la produzione di inflammasomi. La nostra prossima sfida consisterà nello scoprire come trarre vantaggio da queste interazioni di modulazione per disattivare l'infiammazione in diverse malattie.

Infiammazione cronica

Il primo passo per capire come disinnescare l'inflammasoma è capire in che modo l'organismo compie naturalmente questo processo, che in genere si attiva 18-24 ore dopo la formazione dell'inflammasoma. Allo stesso tempo, i ricercatori sperano di decifrare le vie molecolari che permettono agli inflammasomi di funzionare più a lungo del dovuto nel corso di varie malattie. Queste conoscenze dovrebbero fornire agli scienziati nuovi metodi con cui spegnere gli inflammasomi che continuano la loro attività in modo anomalo.

Per esempio, alcuni studi indicano che tutti i segnali di pericolo conosciuti (sia che attivino il signal 1 pathway o il 2) portano a un attacco infiammatorio limitato anche se i segnali di pericolo continuano a essere presenti nell'ambiente intracellulare. Dopo un certo periodo, le cellule immunitarie smettono di rispondere alla presenza prolungata dei segnali di pathway 1 (che attivano la produzione) in un processo chiamato «tolleranza». Al contrario, i segnali di pericolo del pathway 2 (quelli che scatenano la produzione dell'inflammasoma) inducono la morte delle cellule immunitarie se durano troppo a lungo. Entrambi provocano l'interruzione del processo infiammatorio.

È chiaro dunque che sono necessari segnali aggiuntivi per far sì che l'inflammasoma rimanga attivato per molto tempo, come nel caso del diabete e del fegato grasso. Il mio gruppo, in collaborazione con altri gruppi di ricerca, ha scoperto che l'adenosina, una sostanza prodotta dall'organismo ogni volta che scinde le molecole di ATP per produrre energia, sembra ritardare il disassemblaggio dell'inflammasoma NLRP3. Paradossalmente, l'adenosina è da molto tempo considerata una molecola antinfiammatoria perché contrasta i prodotti residui del processo infiammatorio.

Terapie del futuro

Le scoperte illustrate in questo articolo hanno trasformato radicalmente il nostro modo di intendere l'infiammazione. Oltre a comprenderne le singole fasi, oggi i ricercatori concordano in linea di massima sul fatto che molti stimoli diversi (agenti esterni, segnali di pericolo e addirittura numerosi prodotti della digestione) convergano in un'unica struttura infiammatoria, ovvero l'inflammasoma, che dispone di un numero relativamente limitato di prodotti. Le differenze tra le varie malattie dipendono dal tipo di segnale di attivazione, dal sito dell'attivazione dell'inflammasoma e dalla sua durata. Per esempio i cristalli di acido urico nelle articolazioni scatenano episodi di infiammazione acuta (la gotta) che si risolvono nonostante la continua presenza dei cristalli (per lo meno fino all'attacco successivo), mentre i cristalli di silicio nel polmone provocano un'infiammazione cronica che è poi seguita da una cicatrizzazione.

Queste nuove informazioni offrono possibili bersagli molecolari contro cui le case farmaceutiche possono tentare di sviluppare nuove terapie. Le nuove cure devono puntare a bloccare l'inflammasoma nelle diverse fasi della sua formazione, compreso il legame dei segnali di pericolo ai loro recettori. Varie aziende hanno già iniziato a testare composti che agiscono in modo diretto sull'inflammasoma, ma probabilmente saranno necessari altri dieci anni prima che questi farmaci in fase di studio raggiungano la fine dei test e siano considerati sicuri ed efficaci.

Nel frattempo molti ricercatori hanno iniziato a somministrare terapie già note per la loro efficacia contro una determinata malattia (e approvate dalla statunitense Food and Drug Administration) a pazienti con malattie diverse, che tuttavia condividono lo stesso inflammasoma. Per esempio, poiché l'anakinra, usata da molto tempo contro l'artrite reumatoide, blocca il recettore a cui l'interleuchina-1 beta si lega dopo aver lasciato l'inflammasoma, è in corso di sperimentazione la somministrazione del farmaco in un'ampia gamma di malattie mediate dall'NLRP3, comprese alcune sindromi infiammatorie dell'età pediatrica rare ma molto debilitanti.

Il mio gruppo sta inoltre studiando se la digossina, usata per curare alcuni disturbi da aritmia, possa ridurre l'infiammazione in malattie neurologiche come l'Alzheimer. Di recente altri ricercatori hanno dimostrato che la digossina inibisce una molecola chiamata HIF-1α. Il mio gruppo alla Yale University ha poi scoperto che la HIF-1α è necessaria per l'attivazione sostenuta dell'inflammasoma NRLP3. Poiché l'NRLP3 risulta attivo nel cervello dei malati di Alzheimer, i nostri risultati combinati suggeriscono che la digossina potrebbe rappresentare una potenziale terapia contro l'Alzheimer, ma sono necessari ulteriori approfondimenti. È stato dimostrato che una dose eccessiva di digossina causa confusione mentale e ulteriori sintomi ricollegabili alla demenza, oltre ad altri effetti collaterali.

Negli ultimi anni sono state condotte numerose ricerche sulla biologia essenziale dell'inflammasoma. I prossimi anni porteranno a nuove conoscenze e, auspicabilmente, a nuove terapie, seguendo percorsi difficili da prevedere. Ma guardando alla ricca e complessa organizzazione di questa straordinaria struttura cellulare è evidente che colpire l'infiammazione all'origine potrebbe dare sollievo a molte delle sofferenze e disabilità che rendono assai difficile la vita di tantissime persone. ■

PER APPROFONDIRE

The Inflammasomes. Schroder K. e Tschopp J., in «Cell», Vol. 140, n. 6, pp. 821-832, 19 marzo 2010. **www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/20303873.**

Inflammasomes in Health and Disease. Strowig T. e altri, in «Nature», Vol. 481, pp. 278-286, 19 gennaio 2012.

Inflammasome Biology in Fibrogenesis. Ouyang X., Ghani A. e Wajahat Z. Mehal, in «Biochimica et Biophysica Acta (BBA)-Molecular Basis of Disease», Vol. 1832, n. 7, pp. 979-988, luglio 2013. **www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/23562491.**

Un fuoco maligno. Stix G., in «Le Scienze» n. 469, settembre 2007.

ETOLOGIA

Animali in rete

In un'ampia varietà di specie, le amicizie che si stabiliscono fra un esemplare e l'altro influiscono fortemente sul comportamento dei singoli e dei gruppi

di Lee Alan Dugatkin e Matthew Hasenjager

IN BREVE

Come noi umani, gli esemplari di molte specie animali trascorrono la vita inseriti in complesse reti sociali che influiscono sul loro comportamento e su quello del gruppo.
Nello studio di questi sistemi animali i ricercatori usano tecniche sviluppate per l'analisi delle reti umane.
La struttura delle reti animali può svolgere un ruolo importante nelle opportunità di accoppiamento, nella diffusione di malattie o informazioni e nella trasmissione di tecniche di sopravvivenza.
Le analisi dedicate a queste reti mostrano che certi individui hanno una particolare importanza nel mantenere il buon andamento complessivo della vita della comunità.

Mark Allen Miller

Molti aspetti della nostra vita sono influenzati da chi fa parte delle nostre reti sociali; contiamo su famiglie estese, amici di amici di amici, colleghi e loro conoscenti, per avere informazioni un po' su tutto, dai libri da leggere a come votare alle elezioni o al lavoro verso cui puntare. Ma non siamo certo gli unici: le reti sociali influiscono anche sulle esperienze quotidiane, e anzi sulla stessa sopravvivenza, dei singoli individui di molte specie animali. Che gli scimpanzè e altri primati abbiano una vita sociale complessa è noto da decenni; studi più recenti hanno rivelato che le azioni di singoli uccelli, delfini e altre creature hanno un senso compiuto solo all'interno del loro contesto sociale. Le implicazioni di queste scoperte potrebbero andare dagli sforzi di protezione della fauna fino a una miglior comprensione delle stesse reti sociali umane.

E la ricerca sugli animali – che spesso adotta tecniche sviluppate per studiare i comportamenti di gruppo degli esseri umani – potrebbe darci riscontri con cui orientarci nelle future ricerche su noi stessi.

Perché c'è bisogno di analisi di rete

Gli studiosi del comportamento animale, gli etologi, hanno avuto bisogno di tempo e di nuovi modi di pensare per capire quanto possano essere importanti le reti sociali nel regno animale.

Negli anni trenta il futuro premio Nobel Konrad Lorenz pubblicò i suoi studi oggi famosi in cui descriveva l'*imprinting* nelle oche, ovvero l'istintivo attaccamento emotivo dei neonati verso il primo individuo che incontrano in certo periodo critico dello sviluppo e che si prende cura di loro. L'idea che la maggior parte degli animali siano in sostanza robot, dal comportamento obbligato e programmato (cioè sotto controllo genetico), divenne rapidamente un dogma.

Presto però i ricercatori capirono che c'erano fattori esterni che interagivano con la programmazione genetica sottostante. Natura (geni) più esperienza individuale (ambiente) guidano il comportamento animale. Anche se può sembrare un'affermazione esaustiva, in realtà non è granché utile: messe insieme, natura ed esperienza includono praticamente ogni possibile influenza che si possa immaginare.

Così gli scienziati hanno iniziato a studiare come anche l'apprendimento per prove ed errori (*trial-and-error*) contribuisca a plasmare il comportamento. Insieme alle osservazioni sul campo, questi studi ci hanno obbligato a riconoscere che gli animali sono molto più intelligenti di quanto fosse stato loro riconosciuto: scimpanzè e corvi usano e producono strumenti; i pappagalli risolvono problemi per via logica; gli elefanti mettono fuori uso recinti elettrificati lasciandovi cadere sopra massi. Studiando questa evidente intelligenza, i ricercatori hanno anche osservato che alcuni animali in gruppo imparavano certi comportamenti copiando i compagni. E che un dato membro del gruppo poteva accorgersi di essere osservato da altri in cerca di informazioni.

Naturalmente, come sanno i fisici, quando i corpi sono più di due le cose si complicano. Quindi i primi tentativi di studiare i modi in cui interagiscono gli individui di un gruppo sociale tendevano a esaminare relazioni fra due o tre esemplari. Un gran numero di ricerche si erano concentrate su un animale che copiava le scelte di accoppiamento di un altro, o su un membro di un gruppo che spiava le capacità di combattimento di un potenziale concorrente, o di un approfittatore che sottraeva cibo a un altro componente più produttivo del gruppo. Ma più studiavano questi comportamenti, e più gli etologi capivano che queste interazioni tra pochi individui non erano che vaghi indizi dell'insieme di relazioni che legano i membri di un gruppo.

Per capire più a fondo la vita sociale degli animali si doveva riconoscere che molti di essi, proprio come gli esseri umani, sono inseriti in complesse reti sociali: i rapporti che legano ogni individuo a tutti gli altri membri del gruppo.

Come farlo, in pratica

Le applicazioni moderne di questo approccio sono cominciate seriamente circa 15 anni fa, quando gli etologi hanno adottato senza remore i metodi con cui i sociologi studiavano da tempo le reti sociali umane: all'inizio nei posti di lavoro e nei quartieri, in seguito nelle comunità virtuali come Facebook e Twitter.

Le reti sociali degli animali vanno da semplici associazioni che coinvolgono solo qualche individuo, come un approssimativo banco di pesci che si spostano insieme, a configurazioni molto più complesse, come quelle che si possono trovare in una banda di babbuini, in cui gli individui sono inseriti in una varietà di affiliazioni sovrapposte (come le reti di accoppiamento, di dominanza o di *grooming*), che possono avere effetti diretti o indiretti sui membri del gruppo. Le reti possono cambiare di frequente: i membri possono andare e venire e gli individui possono cambiare posizione e collegamenti in risposta a malattie, acquisizione di conoscenze e interazioni precedenti.

Nelle società animali semplici e in quelle complesse, le interazioni tra i componenti delle reti hanno implicazioni importanti per sopravvivenza e riproduzione. L'accuratezza delle informazioni su cibo, predatori e partner, e la velocità con cui si diffondono nel gruppo, dipendono dalla struttura della rete sociale. Anche chi gioca, lotta o collabora con chi dipende dalla struttura della rete. E malattie e parassiti possono passare da un individuo all'altro, senza un incontro tra i due, attraverso uno o più intermediari.

Come parte della loro valutazione, i ricercatori identificano in modo specifico certe caratteristiche delle reti animali: individui chiave (quelli che hanno molte connessioni, la cui rimozione scompiglia la rete sociale stessa); nodi (ogni individuo della rete); densità della rete (rapporto tra il numero dei legami presenti e quello di tutti i legami possibili); grado (numero di legami tra ogni individuo e l'insieme degli altri); raggio d'azione o *reach* (il numero di amici degli amici di un individuo); e centralità (la percentuale di tutte le connessioni fra individui che includono un certo individuo). La maggior parte degli abitanti degli Stati Uniti, per esempio, ha bassa centralità alla scala del paese; ma visto che quasi tutti sanno che c'è e sono collegati con lui attraverso i funzionari locali, la centralità del presidente è vicina al 100 per cento.

Per farsi un'idea di come funzionano le reti sociali in natura – e di come possano essere un fattore cruciale dei comportamenti adottati da tutti i loro membri – diamo un'occhiata alla vita non molto privata di tre specie non umane che sono state studiate in questo modo.

Macachi poliziotti per l'integrità della rete

I macachi nemestrini (*Macaca nemestrina*) creano molteplici reti, come quelle composte dai compagni di giochi o dai partner di grooming. Le reti sono di varie dimensioni, e una scimmia può preferire partner diversi nelle diverse reti. Un certo individuo poi,

Lee Alan Dugatkin è professore di biologia all'Università di Louisville, autore di circa 150 pubblicazioni scientifiche oltre che di popolari libri come *The Altruism Equation: Seven Scientists Search for the Origins of Goodness* e *Mr. Jefferson and the Giant Moose: Natural History in Early America*.

Matthew Hasenjager è dottorando di ricerca del laboratorio di Dugatkin. La sua tesi sarà dedicata alle reti sociali animali.

La forza delle reti sociali può arrivare a influire su ogni cosa, dalle probabilità di accoppiarsi dei manachini (*a sinistra*) al *grooming* dei macachi (*al centro*), fino alla propensione di certi tursiopi in Brasile (*a destra*) a collaborare con i pescatori per catturare maggiori quantità di cefali.

può avere un ruolo più forte in una rete rispetto a quello che ha in un'altra. Ma tutte le reti hanno una caratteristica comune: funzionano sotto l'occhio vigile di un ristretto numero di figure d'autorità che mantengono la pace. Questa «polizia» dei macachi, composta da alcuni dei membri del gruppo con più alto rango, dedica tempo ed energie a interrompere gli scontri tra gli altri membri delle proprie reti sociali.

Una decina d'anni fa Jessica Flack del Santa Fe Institute e colleghi (fra i quali Frans de Waal, primatologo della Emory University) hanno studiato il ruolo di questa polizia in un gruppo di 84 macachi presso lo Yerkes National Primate Research Center della Emory. Spesso i genetisti decifrano il ruolo di un particolare gene in una cellula o in un organismo disattivandolo e osservando le conseguenze della sua assenza. Il gruppo di Flack ha adattato questo approccio (detto *knockout*) ai macachi togliendo tre maschi «poliziotti». Poi sono rimasti a guardare.

La perdita di un membro di basso rango aveva poca influenza sulle reti sociali. Come ci si poteva attendere, però, la mancanza della polizia portava a un aumento delle aggressioni e a una diminuzione delle riconciliazioni dopo i combattimenti nella popolazione. In modo meno prevedibile, invece, in mancanza della polizia le reti di gioco e di grooming sono andate incontro a una complessa ristrutturazione.

Senza la polizia, per esempio, i membri del gruppo giocavano o facevano grooming con meno compagni; diminuiva, cioè, il «grado» delle loro reti di gioco e di grooming. E diminuiva anche il «raggio d'azione» – il numero degli amici degli amici – delle scimmie rimanenti. Allo stesso tempo si indeboliva la coesione dell'intera società; la popolazione sperimentava una sorta di balcanizzazione, dividendosi in gruppi più piccoli e più omogenei che solo di rado interagivano con gli estranei. Queste osservazioni hanno spinto Flack e colleghi a ipotizzare che la presenza della polizia rendesse possibili reti più sane e più dense, i cui membri avevano contatti più numerosi e amichevoli con un maggior numero dei loro compagni.

Questo tipo di esperimenti di eliminazione, che hanno rivelato che alcuni degli individui di una rete sono particolarmente preziosi per la sua struttura, suggeriscono che la comprensione delle reti sociali degli animali potrebbe essere importante per la biologia della conservazione. Prendiamo il caso dell'orca assassina (*Orcinus orca*). Singole femmine giovani e nuclei di femmine imparentate sembrano avere un'importanza cruciale come centri di smistamento delle informazioni sulle opportunità di predazione e altri aspetti della vita nel mare. Tutte le azioni umane che disturbano gli individui e i nuclei che svolgono questo ruolo – dalla caccia all'inquinamento alla costruzione di barriere che impediscono alle orche di spostarsi nell'ambiente – possono sconvolgere la rete sociale delle orche e indebolire le prospettive di sopravvivenza di tutto il gruppo. Averlo capito può ispirare, quanto meno, politiche per minimizzare l'impatto delle nostre azioni su queste affascinanti creature.

La rete di canto e danza degli uccelli

Anche alcune popolazioni selvatiche di uccelli nel loro ambiente naturale sono state oggetto di analisi sulle reti sociali. Fra queste c'è una specie di manachino (*Chiroxiphia linearis*) dell'America centrale. I maschi sono davvero belli, si riconoscono per il piumaggio color indaco, il cappuccio rosso e, come indica il nome latino, la coda lunga e sottile. Se si trova la giusta coppia di maschi appollaiati insieme si può osservare una gran bella esibizione di canto e danza. Anche le femmine di manachino osservano, valutando queste prestazioni quando scelgono il partner. Per i maschi, dunque, la possibilità di esibirsi è molto importante. Purtroppo per loro però la concorrenza per trovare posto in questi duetti è forte, e spesso parecchio aggressiva.

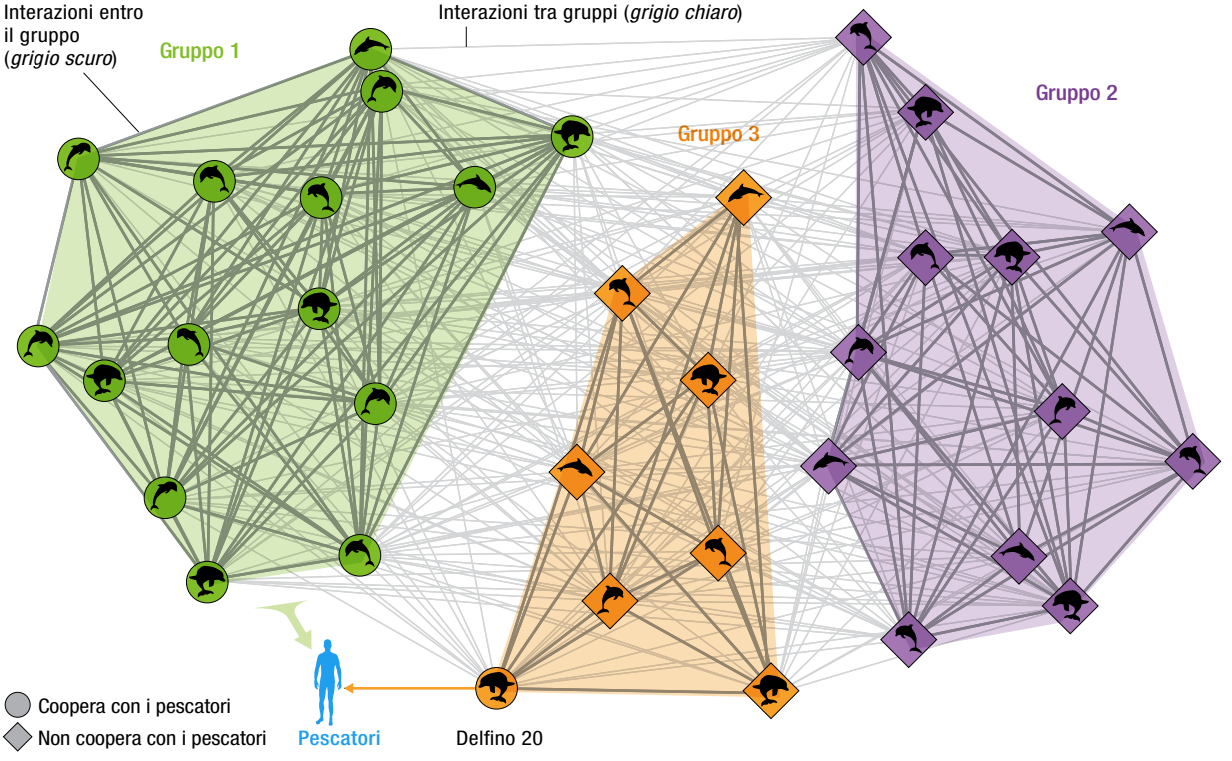
David McDonald dell'Università del Wyoming ha trascorso più di dieci anni in Costa Rica, dedicando un totale di 9288 ore all'osservazione di questi uccelli. Usando tecniche di analisi delle reti sociali, McDonald ha scoperto che il privilegio di esibirsi in questa specie di *talent show* per uccelli va ai maschi con un alto livello di connessione nella fase iniziale della loro vita.

Come negli show in cui gruppi di umani si sfidano danzando, la faccenda è parecchio complicata, ma più o meno succede questo: gruppi di 8-15 maschi trascorrono il loro tempo in aree in cui si trovano uno o più posti adatti per posarsi, dove alla fine gli uccelli si esibiscono. Ogni maschio di ciascun gruppo può esercitarsi nel canto e nella danza su uno di questi posatoi al di fuori dalla stagione degli accoppiamenti (da fine febbraio a inizio settembre) o anche nel corso di essa, purché non ci siano femmine nelle vicinanze. Ma con femmine presenti nella stagione degli amori, solo i due maschi di rango più alto – detti alfa e beta – possono cantare e danzare sui posatoi. In realtà questi due maschi in competizione tra loro fanno squadra per cacciare aggressivamente tutti gli altri maschi dall'area.

Marie Read/Science Source (*uccelli*); Joe McDonald/Getty Images (*scimmie*); Stephen Frink/Getty Images (*tursiopi*)

Delfini ed esseri umani uniti nella pesca

Alcuni membri – ma solo alcuni – di una comunità di tursiopi della regione di Laguna, nel Brasile meridionale, hanno stretto un'inedita alleanza con i pescatori locali per intrappolare nelle reti una specie di cefalo. I delfini erano divisi in tre gruppi. Tutti quelli del gruppo numero 1 (*in verde*) collaboravano (*cerchi*) con i pescatori e interagivano fortemente fra loro (*linee che collegano gli individui*). Quelli del gruppo 2 (*in viola*) interagivano fra loro meno dei membri del gruppo 1 e non avevano alcun contatto (*quadrati*) con i pescatori. Anche i delfini del gruppo 3 (*in arancione*) ignoravano i pescatori, a eccezione di uno dei suoi membri, indicato come «numero 20» (*cerchio arancione*). Questo esemplare aiutava gli esseri umani e teneva i contatti tra il proprio gruppo e il gruppo 1, e potrebbe insegnare al gruppo 3 a lavorare insieme ai pescatori. Si è visto che la collaborazione tra esseri umani e delfini fa aumentare il successo dei delfini nella ricerca di cibo e la quantità di pesce pescato dagli esseri umani.



Il maschio alfa vince quasi tutti gli accoppiamenti in una certa zona posatoio. Per il beta la ricompensa è la successione al vertice della gerarchia alla morte del maschio alfa regnante. Questo sistema dà un'enorme vantaggio al maschio alfa e al maschio beta, un beneficio che tutti maschi vogliono ma che pochi ottengono.

Durante la loro crescita, tra uno e sei anni di età, i maschi si spostano spesso da un posatoio all'altro, stabilendo rapporti con molti altri maschi. L'età media del maschio che riesce a riprodursi è di dieci anni, il che vuol dire che ogni maschio, via via che cresce, include molti altri maschi nella sua rete sociale. Nelle sue quasi 10.000 ore di lavoro sul campo, McDonald ha seguito le interazioni reciproche fra i maschi, ogni anno, per oltre dieci anni. Con i relativi dati, ha costruito una mappa della rete sociale, per capire se la sua struttura poteva rivelare quali maschi si sarebbero affermati nei duetti canterini.

La metrica con cui ha caratterizzato la rete ha tenuto conto sia dei cammini diretti che collegano un individuo all'altro sia di quelli indiretti, che possono includere interazioni tra uccelli legati al primo attraverso vari passaggi. («Io non conosco personalmente Bert, però conosco Kermit, che conosce Ernie, che conosce Bert».) McDonald ha determinato che il segreto era nella centralità: i maschi centrali avevano molta più probabilità, rispetto a quelli meno connessi, di salire nella gerarchia riproduttiva, fino talvolta ad arrivare ai livelli alfa e beta che permettono di salire sul palco a conquistare col canto e la danza il cuore delle belle.

È importante notare che in questo tipo di ricerche si identificano strutture di rete, che si associano poi con il comportamento osservato. Che ci sia una diretta connessione causale tra struttura e comportamento è un'ipotesi dei ricercatori, ma non è provato. È concepibile che i maschi alfa e beta, più che acquisire potere perché hanno molti rapporti, stringano tanti rapporti perché hanno qualche carattere che li rende popolari fra gli altri maschi.

Delfini, reti e pesca

Come già accennato, molti strumenti della teoria delle reti sociali provengono dalle scienze sociali. Non sorprende dunque che la prima analisi dettagliata di una rete sociale non umana riguardi una specie di delfini, i tursiopi, animali dal grande cervello e da tempo riconosciuti come intelligenti e altamente sociali: proprio come noi (quando ci gira bene).

Grafica di Jen Christiansen; fonte: *The structure of a bottlenose dolphin society is coupled to a unique foraging cooperation with artisanal fishermen*, di F.G. Daura-Jorge e altri, in «Biology Letters», Vol. 8, n. 5, 23 ottobre 2012

Alla fine degli anni novanta, l'allora dottorando David Lusseau si è innamorato dei magnifici tursiopi (*Tursiop truncatus*) di Doubtful Sound, splendido fiordo della Nuova Zelanda, 320 chilometri a ovest dell'Università di Otago, dove Lusseau, oggi all'Università di Aberdeen, in Scozia, lavorava alla tesi. Per sette anni ha seguito questi delfini, e uno dei suoi strumenti è stata la fotografia, che lo ha aiutato a identificare i naturali segni distintivi di ciascuno dei 64 tursiopi di Doubtful Sound e a seguire meglio i singoli.

Dopo aver osservato oltre 1000 branchi di varie dimensioni che contenevano sottoinsiemi di 64 animali, Lusseau ha scoperto che i delfini facevano parte di un'unica grande rete sociale che li collegava praticamente tutti. Inoltre Lusseau ha trovato che i singoli delfini preferivano stare in compagnia solo con specifici altri membri del gruppo. Ma non è riuscito a precisarne i motivi. A che serviva la rete sociale dei delfini, e che tipo di informazioni, o vantaggi, potevano condividere i suoi membri?

Per capirne di più, Lusseau si è unito a Paulo C. Simões-Lopes dell'Universidade Federal di Santa Catarina, in Brasile. Insieme hanno studiato una popolazione di 55 tursiopi che vivevano dall'altra parte del pianeta e mostravano un comportamento mai osservato altrove, identificato qualche anno prima da Simões-Lopes: un'interazione reciprocamente vantaggiosa con i pescatori locali (*Homo sapiens*).

Ogni primavera, da aprile a giugno, i pescatori della regione brasiliana di Laguna usano una tecnica introdotta dai coloni venuti delle Azzorre portoghesi oltre due secoli fa: calano in acqua lunghe reti per catturare i banchi di una specie di cefali (*Mugil platanus*) che migrano dalle acque più fresche dell'Argentina. Da qualche anno i pescatori hanno trovato chi li aiuta: alcuni tursiopi della laguna – ma solo alcuni – indirizzano i banchi di pesci verso i pescatori. Al momento giusto i delfini battono sull'acqua con la testa o con la coda, comunicando agli esseri umani con cui collaborano dove calare le reti. Il risultato di questa notevole interazione è che tutte e due le specie di mammiferi prendono più pesce di quanto farebbero altrimenti.

La precedente esperienza di Lusseau lo ha indotto a considerare l'analisi delle reti sociali come strumento per esaminare in dettaglio questo comportamento quasi incredibile. Da settembre 2007 a settembre 2009 Lusseau, Simões-Lopes e colleghi sono usciti in barca nel sistema lagunare, foto dei tursiopi alla mano, a raccogliere dati su quali animali nuotavano insieme. Il gruppo ha raccolto dati affidabili su 35 dei 55 esemplari di questa popolazione. Anche se incompleti, i dati sono bastati a chiarire che questi delfini avevano costituito una rete sociale altamente strutturata.

Un'analisi statistica ha mostrato che i tursiopi di Laguna potevano essere raggruppati in tre sottogruppi in cui i singoli individui trascorrevano la maggior parte del proprio tempo. Tutti i tursiopi di un gruppo avevano anche qualche lieve interazione con quelli degli altri, ma comunque tendevano a spostarsi e interagire soprattutto con gli altri individui del proprio gruppo. Queste associazioni più strette potrebbero servire a facilitare la trasmissione di informazioni tra i loro membri.

Il gruppo numero 1 era composto da 15 esemplari e tutti cooperavano con i pescatori locali. Il gruppo era fortemente interconnesso, e tutti i suoi membri erano spesso associati fra loro sia nella stagione autunnale della pesca ai cefali sia nel resto dell'anno. La trasmissione delle informazioni era quindi facile e fluida. Non sorprende il fatto che il gruppo 1 traesse vantaggio dal rapporto con i pescatori, mentre le altre perdevano questa opportunità.

I gruppi numero 2 e 3 erano differenti dal primo. Nessuno della dozzina di tursiopi del numero 2 cooperava con i pescatori. E anche se i delfini di questo sottogruppo erano spesso visti insieme sia durante la stagione della pesca che fuori di essa, le relazioni sociali dei suoi componenti erano più deboli di quelle osservate fra i membri del sottogruppo numero 1.

Degli otto animali del gruppo numero 3, solo uno, etichettato con il numero 20, cooperava con i pescatori. E di tutti i tursiopi della popolazione di Laguna, l'individuo 20 era quello che trascorreva più tempo interagendo con altri gruppi. A quanto pare l'individuo 20 faceva da tramite tra il suo e il gruppo cooperativo numero 1 (*si veda il box nella pagina a fronte*). Probabilmente un fertile campo per gli studi futuri punterà a determinare l'influenza di questi intermediari in reti assai complesse. Già adesso comunque le osservazioni suggeriscono che disporre di una rete ben stretta, come avviene per il gruppo numero 1, può aiutare gli animali a risolvere difficoltà che i singoli non possono superare da soli: in questo caso, escogitare un modo di comunicare efficacemente con i membri di un'altra specie, cioè i pescatori, esseri umani.

Studi ulteriori dedicati alle reti sociali produrranno altri cambiamenti nel modo in cui pensiamo agli animali

I ricercatori ancora non sanno se ci siano o meno individui chiave del gruppo numero 1, forse qualche esemplare più anziano ed esperto, che insegnano ad altri membri come collaborare con gli esseri umani. Ma visto che nei delfini sono stati osservati casi di insegnamento per altri comportamenti alimentari complessi, non sarebbe sorprendente trovare qualcosa del genere anche qui. Del resto, simili tradizioni apprese per via sociale sono proprio la base delle culture animali e sono fortemente facilitate dalle reti sociali.

L'atteggiamento verso gli animali è cambiato molto dai tempi in cui erano concepiti come macchine che eseguono programmi genetici senza pensare. Gli etologi hanno capito che molti animali sono assai più intelligenti e flessibili nei comportamenti, e più capaci di apprendere, di quanto i pionieri del campo potessero sognare. Prevediamo che ulteriori studi dedicati alle reti sociali produrranno altri cambiamenti nel modo in cui pensiamo agli animali. Lungi dall'essere automi pre-programmati, molte creature non umane trascorrono come noi la vita in complessi ambienti sociali, in reti in cui le interazioni dirette e indirette con altri individui sono fra i massimi fattori di sopravvivenza e successo. ■

PER APPROFONDIRE

Monkey Police Provide Social Stability. Biello D., ScientificAmerican.com, pubblicato on line il 26 gennaio 2006. **www.scientificamerican.com/article/monkey-police-provide-soc.**

Policing Stabilizes Construction of Social Niches in Primates. Flack J.C. e altri, in «Nature», Vol. 439, pp. 426-429, 26 gennaio 2006.

The Structure of a Bottlenose Dolphin Society Is Coupled to a Unique Foraging Cooperation with Artisanal Fishermen. Daura-Jorge F. G. e altri, in «Biology Letters», Vol. 8, n. 5, pp. 702-705, 23 ottobre 2012.

Herd Composition, Kinship and Fission-Fusion Social Dynamics among Wild Giraffe. Bercovitch F. B. e Berry P.S.M., in «African Journal of Ecology», Vol. 51, n. 2, pp. 206-216, giugno 2013.

Structure of Male Cooperation Networks at Long-Tailed Manakin Leks. Edelman A.J. e McDonald D.B., in «Animal Behavior», Vol. 97, pp. 125-133, novembre 2014.

Come cacciano gli scimpanzè. Teleki G., in «Le Scienze» n. 55, marzo 1973.

Jay N. Giedd presiede il reparto di psichiatria infantile e dell'adolescenza all'Università della California a San Diego ed è professore presso la Johns Hopkins Bloomberg School of Public Health. È direttore della rivista «Mind, Brain, and Education».

NEUROSCIENZE

Le meraviglie del cervello adolescente

Un disallineamento tra la maturazione delle reti neurali determina la propensione al rischio degli adolescenti, ma permette anche salti in avanti nella cognizione e nell'adattabilità

di Jay N. Giedd

IN BREVE

Gli studi di imaging hanno dimostrato che il cervello degli adolescenti non è un cervello infantile più vecchio, o un cervello adulto non ancora maturo: è una realtà a sé stante, caratterizzata da flessibilità e dall'aumento del numero di connessioni tra le regioni cerebrali.

Durante la pubertà, il sistema limbico alla guida delle emozioni si consolida, ma la corteccia prefrontale che controlla l'impulsività matura soltanto al raggiungimento dei vent'anni. Questo disallineamento fa sì che gli adolescenti siano propensi al rischio, ma allo stesso tempo permette loro di adattarsi prontamente all'ambiente.

L'anticipo della pubertà tra i bambini di tutto il mondo sta allungando gli anni di questo disallineamento.

Una maggiore comprensione del cervello degli adolescenti potrebbe aiutare i genitori e la società a distinguere i comportamenti caratteristici dell'età da quelli tipici della malattia mentale e, allo stesso tempo, aiuterebbe gli adolescenti a diventare le persone che vogliono essere.

Illustrazione di Harry Campbell, fotografia di Ethan Hill

Il «cervello dei teenager»

è spesso considerato una specie di ossimoro: un esempio di errore biologico.

I neuroscienziati hanno spiegato il comportamento a rischio, aggressivo, o semplicemente indecifrabile, degli adolescenti come il prodotto di un cervello in qualche modo compromesso. La ricerca degli ultimi dieci anni, tuttavia, ha dimostrato l'inadeguatezza di questo approccio. Il cervello dei teenager non è difettoso, e non è nemmeno un cervello adulto pronto a metà: l'evoluzione lo ha modellato perché funzionasse in maniera diversa da quello di un bambino o di un adulto.

Tra le caratteristiche principali del cervello dei giovanissimi c'è la capacità di trasformarsi in risposta all'ambiente, modificando le reti che connettono le regioni cerebrali. Questa particolare flessibilità, o plasticità, è una lama a doppio taglio: permette ai giovani di compiere grandi passi avanti nel pensiero e nella socializzazione, ma la mutevolezza del paesaggio li rende vulnerabili ai comportamenti pericolosi e ai disturbi mentali gravi.

Gli studi più recenti indicano che i comportamenti più rischiosi nascono dal disallineamento tra la maturazione delle reti del sistema limbico, che guida le emozioni e il cui sviluppo accelera durante la pubertà, e quella delle reti della corteccia prefrontale, che si realizza più tardi e promuove il raziocinio e il controllo degli impulsi. Oggi sappiamo che la corteccia prefrontale continua a modificarsi fin oltre i vent'anni. Allo stesso tempo però, la pubertà sembra iniziare prima, estendendo gli «anni del disallineamento».

La plasticità delle reti che connettono le regioni cerebrali è l'elemento chiave che permette di imparare come comportarsi da adulti. Comprenderlo, e sapere che i giovani vivono in una terra di mezzo tra lo sviluppo delle reti emotive e quelle del giudizio, può essere d'aiuto ai genitori, agli insegnanti, agli psicologi e agli adolescenti stessi. Comportamenti come la propensione al rischio, la ricerca di sensazioni forti e il distacco dai genitori per rivolgersi ai compagni non sono segno di problemi cognitivi o emotivi, ma il naturale risultato dello sviluppo cerebrale, parte di ciò che serve ai giovani per imparare a muoversi in un mondo complesso.

Capire tutto questo può aiutare gli adulti a decidere quando intervenire. Una ragazza di 15 anni che si allontana dai gusti dei genitori in fatto di abiti, musica e politica può turbare mamma e papà, ma non indica una malattia mentale. La tendenza di un sedicenne a fare skateboard senza casco non è da sottovalutare, ma si tratta più di una manifestazione di pensiero a breve termine e di pressione tra coetanei che di desiderio autolesivo. Ma altri comportamenti esplorativi o aggressivi potrebbero essere segnali di allarme. Conoscere meglio l'unicità del cervello degli adolescenti aiuterà tutti noi a imparare a separare i comportamenti insoliti ma appropriati all'età da quelli che potrebbero indicare una malattia. La consapevolezza potrebbe aiutare a ridurre dipendenze da sostanze, malattie sessualmente trasmesse, incidenti stradali, gravidanze indesiderate, omicidi, depressione e suicidi tra gli adolescenti.

Sono pochi i genitori che si sorprenderebbero nel sentire che il cervello di un sedicenne è diverso da quello di un bambino di otto anni, ma non è semplice identificare queste differenze in maniera scientifica. Avvolto in una membrana spessa e resistente, circondato da una trincea protettiva di liquido e completamente racchiuso nel cranio, il cervello è protetto dalle cadute e dagli attacchi dei predatori... E dalla curiosità degli scienziati.

L'invenzione di tecnologie di imaging come la tomografia computerizzata e la tomografia a emissione di positroni ha permesso alcuni passi avanti, ma dato che queste tecniche emettono radiazioni ionizzanti, usarle per studiare i ragazzi non era etico. L'avvento dell'imaging di risonanza magnetica (RM) ha offerto un metodo sicuro e accurato per studiare l'anatomia e la fisiologia cerebrale delle persone di ogni età. Le ricerche in corso stanno seguendo migliaia di persone per tutta la durata della loro vita. Il tema ricorrente che sta emergendo è che il cervello degli adolescenti non matura diventando più grande, ma facendo sì che i diversi componenti divengano più interconnessi e specializzati.

Osservando le scansioni RM, l'aumento della connettività tra le regioni cerebrali si manifesta come un maggior volume di sostanza bianca. Il «bianco» della sostanza bianca è dato dalla mielina, una materia adiposa che avvolge e isola i lunghi cavi, o assoni, che si estendono dal corpo di un neurone. La mielinazione, ovvero la formazione di questo involucro adiposo, inizia durante l'infanzia e prosegue fino all'età adulta, aumentando in maniera significativa la velocità di conduzione degli impulsi nervosi tra i neuroni: gli assoni mielinati trasmettono segnali fino a 100 volte più veloci rispetto agli assoni privi di questo involucro.

La mielinazione accelera inoltre l'elaborazione delle informazioni aiutando gli assoni a tornare velocemente a uno stato di eccitabilità dopo l'invio di un segnale, così da essere pronti per l'invio del segnale successivo. Un tempo di recupero più veloce permette un aumento della frequenza, fino a 30 volte maggiore, con cui un neurone può trasmettere l'informazione. La combinazione di trasmissione più veloce e tempi di recupero più brevi determina l'aumento dell'ampiezza della banda computazionale del cervello, pari a 3000 volte tra l'infanzia e l'età adulta, permettendo una comunicazione estesa ed elaborata tra le regioni cerebrali.

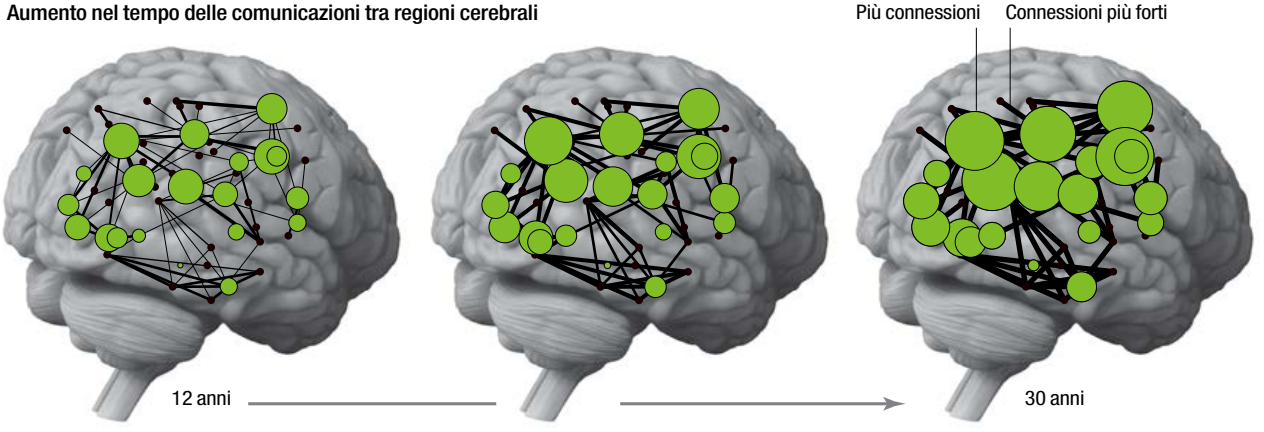
Studi recenti stanno inoltre portando alla luce un altro ruolo della mielina, più complesso. I neuroni integrano le informazioni provenienti da altre cellule cerebrali, ma le ritrasmettono solo se il segnale in ingresso oltrepassa una determinata soglia. Se il neurone scarica, questa azione determina l'inizio di una serie di modificazioni molecolari che rinforzano le sinapsi, o connessioni, tra quel neurone e i neuroni in ingresso.

Questo consolidamento delle connessioni è alla base dell'apprendimento. Ora i ricercatori stanno comprendendo che, affinché i segnali in ingresso provenienti da neuroni vicini e lontani arrivino simultaneamente a un determinato neurone, la trasmissione deve essere perfettamente sincronizzata, e la mielina è strettamente coinvolta nella regolazione fine di questo coordinamento. Con il passaggio dall'infanzia all'adolescenza la rapida espansione della mielina aumenta la coordinazione e l'interconnessione dell'attivi-

Maggiori connessioni portano alla maturità

Il cambiamento più significativo che avviene nel cervello di un adolescente non è l'aumento di volume delle regioni cerebrali, ma la moltiplicazione delle vie di comunicazione tra i gruppi di neuroni. Applicando ai dati acquisiti tramite scansioni RM una tecnica analitica chiamata teoria dei grafi è possibile osservare come tra i dodici e i trent'anni le connessioni tra alcune regioni cerebrali o gruppi neuronali si rafforzino (*linee nere che aumentano di spessore*). L'analisi mostra inoltre come le connessioni tra alcune regioni e gruppi cerebrali divengano più fitte (*cerchi verdi che aumentano di diametro*). Questi cambiamenti portano a una maggiore specializzazione del cervello, dal pensiero complesso al comportamento sociale multiforme.

Aumento nel tempo delle comunicazioni tra regioni cerebrali



tà nelle diverse parti del cervello rispetto a vari compiti cognitivi. Ora gli scienziati possono misurare questo cambiamento dell'interconnettività applicando la teoria dei grafi, un tipo di calcolo matematico che quantifica la relazione tra i «nodi» e gli «archi» di una rete. I nodi possono essere qualsiasi oggetto o entità identificabile, come un neurone o una struttura cerebrale quale l'ippocampo, o una regione più ampia come la corteccia prefrontale. Gli archi possono essere un qualsiasi collegamento tra nodi, da una connessione fisica come una sinapsi tra neuroni, fino a una correlazione statistica, come nel caso in cui due aree cerebrali si attivino in maniera simile durante un compito cognitivo.

La teoria dei grafi ci ha aiutati a studiare in che modo le diverse regioni cerebrali si sviluppano e la loro interrelazione finale, nonché a correlare queste caratteristiche con le trasformazioni del comportamento e della cognizione. Le alterazioni in atto a livello cerebrale non si limitano all'adolescenza: la maggior parte dei circuiti cerebrali si sviluppa in utero, e molti di essi continuano a modificarsi nel corso di tutta la vita, ben oltre ciò che avviene durante l'adolescenza. È stato scoperto, tuttavia, che durante questo particolare periodo si ha un significativo aumento della connettività anche a livello delle regioni cerebrali coinvolte nel giudizio e nella pianificazione ad ampio raggio, capacità che influiscono profondamente sul resto della vita di una persona.

Tempo per specializzarsi

Mentre la sostanza bianca e i neuroni si sviluppano negli adolescenti con l'età, un altro cambiamento sta avvenendo. Lo sviluppo del cervello, come altri processi complessi in natura, avviene attraverso una fase di iperproduzione seguita da una fase di eliminazione selettiva. Come il *David* di Michelangelo emerse da un blocco di marmo, molti avanzamenti cognitivi emergono da un processo di eliminazione attraverso cui vengono rimosse le connessioni cellulari cerebrali non utilizzate o inadatte, mentre si rafforzano quelle utilizzate con maggiore frequenza. Sebbene questo processo di eliminazione e consolidamento duri tutta la vita, durante l'adolescenza la bilancia pende verso l'eliminazione, via via che il cervello si adatta alle richieste del proprio ambiente.

La specializzazione si realizza man mano che le connessioni inutilizzate vengono eliminate, riducendo la sostanza grigia del cervello, composta principalmente da strutture non mielinizzate come i corpi cellulari dei neuroni, i dendriti (proiezioni poste a mo' di antenne sulle cellule, che ricevono informazioni dagli altri neuroni) e alcuni assoni. Il volume della sostanza grigia aumenta durante l'infanzia, raggiunge il picco massimo attorno ai dieci anni e diminuisce nel corso dell'adolescenza, per poi stabilizzarsi durante l'età adulta e in qualche modo declinare ulteriormente con la senescenza. Lo stesso pattern è seguito dalla densità dei recettori posti sui neuroni che rispondono ai neurotrasmettitori – come la dopamina, la serotonina e il glutammato – che modulano la comunicazione tra le cellule cerebrali.

Sebbene la quantità grezza di sostanza grigia raggiunga il culmine attorno alla pubertà, il pieno sviluppo delle diverse regioni cerebrali avviene in momenti diversi. È stato scoperto che la sostanza grigia raggiunge prima il picco nelle cosiddette aree sensomotorie dedicate alla percezione e alla risposta ai segnali visivi, uditivi, olfattivi, del gusto e tattili. Il culmine è invece raggiunto più tardi nella corteccia prefrontale, cruciale per il funzionamento esecutivo; un termine che comprende una vasta gamma di capacità tra cui l'organizzazione, i processi decisionali e la pianificazione, nonché la regolazione delle emozioni.

Un'importante caratteristica della corteccia prefrontale è la capacità di creare condizioni ipotetiche attraverso i viaggi temporali mentali, cioè di considerare risultati passati, presenti e futuri elaborando simulazioni mentali anziché assoggettarsi a pericoli reali: come disse il filosofo Karl Popper, invece di esporci al pericolo, «le nostre teorie muoiono al nostro posto». Via via che maturiamo cognitivamente, anche il nostro funzionamento cognitivo ci rende più propensi a scegliere ricompense più grandi e a lungo termi-

Illustrazione di David Killpack (*cervelli*) e Jen Christiansen (*diagrammi nodali*); Fonte: *Development of brain structural connectivity between ages 12 and 30*, di Emily I. Dennis et al., in «NeuroImage», Vol. 64; gennaio 1, 2013 (video 2)

ne al posto di ricompense minori e a breve termine. La corteccia prefrontale è inoltre una componente chiave nei circuiti coinvolti nella cognizione sociale, cioè la capacità di orientarci all'interno di relazioni sociali complesse, distinguere gli amici dai nemici, trovare protezione all'interno di un gruppo e portare avanti l'obiettivo primario dell'adolescenza: attrarre un partner.

L'adolescenza è quindi caratterizzata da cambiamenti a livello della sostanza grigia e della sostanza bianca, che assieme trasformano le connessioni tra le regioni cerebrali man mano che prende forma il cervello adulto. Le funzioni della corteccia prefrontale non sono assenti negli adolescenti: semplicemente, non sono funzionali quanto lo saranno in futuro. Poiché non raggiungono la maturità fino ai vent'anni, i teenager possono avere difficoltà a controllare gli impulsi o a valutare rischi e benefici.

Uno sfasamento della maturazione

Diversamente dalla corteccia prefrontale, il sistema limbico, che agisce sulla spinta degli ormoni, cambia radicalmente durante la pubertà, che in genere inizia tra i 10 e i 12 anni. Questo sistema regola le emozioni e il senso di ricompensa; durante l'adolescenza interagisce inoltre con la corteccia prefrontale per promuovere la ricerca di novità, la propensione al rischio e lo spostamento verso l'interazione tra pari. Questi comportamenti, profondamente radicati nella biologia e presenti in tutti i mammiferi sociali, incoraggiano preadolescenti e adolescenti ad allontanarsi dalla sicurezza delle famiglie per esplorare ambienti nuovi e cercare relazioni all'esterno. Questi comportamenti diminuiscono la probabilità di accoppiamento con consanguinei, creando una popolazione geneticamente più sana, ma creano anche pericoli sostanziali, in particolare se associati a tentazioni moderne come il più semplice accesso a droghe, armi da fuoco e veicoli potenti, in assenza del controllo di un giudizio maturo.

Ciò che determina soprattutto un comportamento del teenager, quindi, non è tanto il tardivo sviluppo del funzionamento esecutivo o l'esordio precoce del comportamento emotivo, quanto la mancata correlazione tra il momento di maturazione dei due. Se gli adolescenti sono guidati emotivamente dal sistema limbico, mentre il controllo prefrontale non è efficace quanto sarà in futuro, per esempio attorno ai 25 anni, ciò determina un buco temporale di circa dieci anni dominato dallo squilibrio tra pensiero emotivo e contemplativo. Inoltre l'anticipo dell'inizio della pubertà, ora in atto in tutto il mondo, allunga il divario temporale tra l'esordio della propensione al rischio e della ricerca di emozioni forti e l'instaurarsi di una corteccia prefrontale forte e stabilizzante.

Questo sfasamento, che dura sempre di più, corrobora l'idea sempre più diffusa che gli anni dell'adolescenza non siano più sinonimo di adolescenza. L'adolescenza, che la società definisce come la transizione tra l'infanzia e l'età adulta, inizia biologicamente con l'esordio della pubertà, ma in termini sociali finisce nel momento in cui la persona raggiunge l'indipendenza e assume i ruoli caratteristici dell'età adulta. Oggi negli Stati Uniti lo status di adulto – spesso caratterizzato da eventi quali il matrimonio, la nascita di un figlio e l'acquisto di una casa – viene raggiunto approssimativamente cinque anni più tardi rispetto agli anni settanta.

La grande influenza dei fattori sociali nel determinare ciò che costituisce un adulto ha portato alcuni psicologi a suggerire che l'adolescenza sia meno una realtà biologica e piuttosto un prodotto dei cambiamenti nel bambino che sono andati impennandosi fin dalla rivoluzione industriale. Tuttavia gli studi sui gemelli, che esaminano gli effetti relativi dei geni e dell'ambiente seguendo coppie di gemelli che hanno esperienze diverse, confutano l'idea che i fattori sociali possano imporsi in maniera sostanziale rispetto alla biologia. Essi mostrano che la velocità della maturazione biologica della sostanza bianca e della sostanza grigia può essere influenzata in qualche modo dall'ambiente, ma che le tempistiche fondamentali sono controllate dalla biologia. Anche i sociologi sono d'accordo: la propensione al rischio, la ricerca di sensazioni forti e lo spostamento dell'attenzione verso i coetanei si verificano in tutte le culture, anche se in gradi diversi.

Vulnerabilità e opportunità

Lo sviluppo della sostanza grigia, della sostanza bianca e delle connessioni identificato dagli studi con la risonanza magnetica sottolinea l'idea che la caratteristica più prominente dello sviluppo del cervello degli adolescenti sia la portata dei cambiamenti che vi si verificano. Questa abilità plastica diminuisce in età adulta, eppure gli esseri umani mantengono un grado di flessibilità cerebrale molto più a lungo di qualsiasi altra specie.

Una maturazione e una plasticità più durature ci permettono di «tenere la porta aperta» durante il corso dello sviluppo individuale così come dell'evoluzione dell'intera specie. Siamo capaci di prosperare ovunque, dal rigido Polo Nord alle torride isole equatoriali. Grazie alle tecnologie sviluppate dal nostro cervello siamo addirittura in grado di vivere in veicoli spaziali che orbitano attorno al nostro pianeta. Diecimila anni fa – un battito di ciglia in termini evolutivi – passavamo gran parte del nostro tempo alla ricerca di cibo e riparo. Oggi la maggior parte di noi trascorre le ore di veglia manipolando parole e simboli, cosa degna di particolare nota se consideriamo che la lettura risale a soli 5000 anni fa.

La prolungata plasticità è stata di grande beneficio per la nostra specie, ma accanto alle opportunità ha creato vulnerabilità. L'adolescenza è il momento in cui raggiunge il picco l'emergere delle diverse malattie mentali, tra cui i disturbi dell'ansia, il disturbo bipolare, la depressione, i disturbi dell'alimentazione, le psicosi e l'abuso di sostanze: un dato sorprendente è che il 50 per cento delle malattie mentali emerge prima dei 14 anni, e il 75 per cento ha inizio entro i 24.

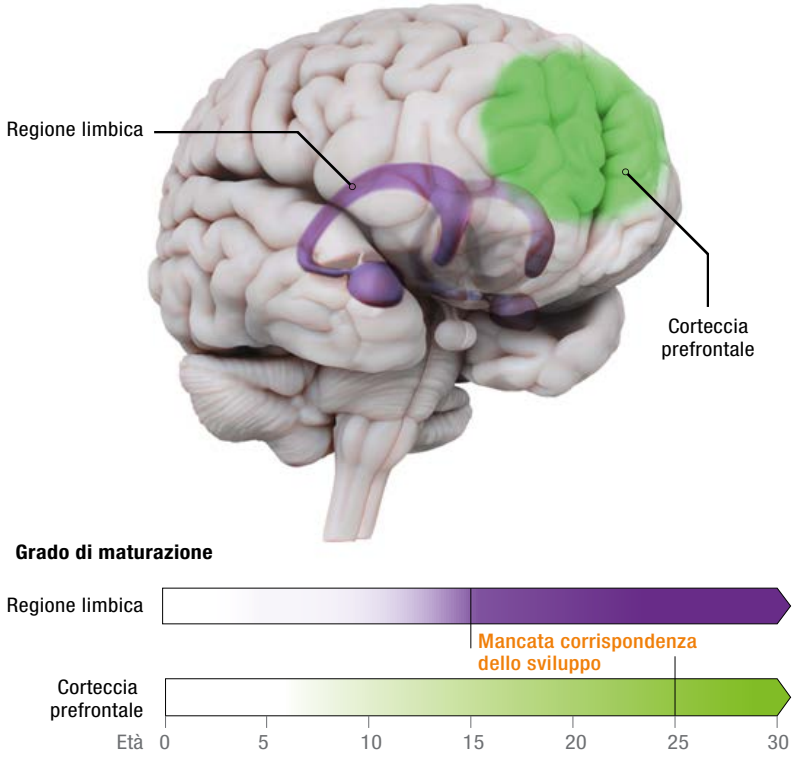
La relazione tra le alterazioni tipiche del cervello dell'adolescente e l'esordio della psicopatologia è complicata, ma un tema soggiacente potrebbe essere che «le parti in movimento si rompono». L'idea è che i grandi cambiamenti nella sostanza bianca, nella sostanza grigia e nelle connessioni aumentano la probabilità che emergano problemi. Per esempio, quasi tutti i reperti cerebrali anomali negli schizofrenici adulti somigliano a tipici cambiamenti dello sviluppo del cervello adolescente andati troppo oltre.

Sotto molti altri punti di vista, l'adolescenza è il periodo più sano della vita umana. Il sistema immunitario, la resistenza al cancro, la tolleranza al caldo e al freddo e altri tratti raggiungono il massimo splendore. Nonostante la resistenza fisica, tuttavia, le malattie gravi e la morte sono da duecento a trecento volte più frequenti negli adolescenti rispetto ai bambini. Gli incidenti autostradali, la causa principale di morte, rendono conto di almeno metà delle vittime tra gli adolescenti. L'omicidio e il suicidio sono, rispettivamente, la seconda e la terza causa. Anche le gravidanze indesiderate, le malattie sessualmente trasmissibili e i comportamenti penalmente illeciti sono prevalenti, portando con sé un pesante fardello di conseguenze per tutta la vita.

Che cosa possono fare a questo riguardo i medici, i genitori, gli insegnanti e gli stessi adolescenti? Per i clinici, la scarsità di nuovi farmaci psichiatrici e la propensione del cervello dei teenager a

Emozione versus controllo

Gli adolescenti hanno maggiori probabilità rispetto ai bambini o agli adulti di mettere in atto comportamenti rischiosi, anche a causa del divario nel completamento della maturazione tra due importanti regioni cerebrali. Lo sviluppo del sistema limbico (*in viola*), alimentato dagli ormoni e alla guida delle emozioni, si intensifica con l'inizio della pubertà (in genere, tra i nove e i dodici anni) e matura negli anni successivi. La corteccia prefrontale (*in verde*), che tiene a freno le azioni impulsive, raggiunge il pieno sviluppo solo dieci anni più tardi, creando uno squilibrio durante gli anni intermedi. La pubertà, inoltre, oggi tende a iniziare prima, incrementando gli ormoni quando la corteccia prefrontale è ancora meno matura.



Fonte: Jay N. Giedd

rispondere all'ambiente suggerisce che gli interventi non medicalizzati potrebbero essere i più efficaci, in particolare all'inizio dello sviluppo adolescenziale, quando la sostanza bianca, la sostanza grigia e le connessioni subiscono una rapida trasformazione. Il trattamento del disturbo ossessivo-compulsivo ne è un esempio: gli interventi comportamentali che innescano l'impulso ossessivo ma modificano gradualmente la risposta della persona possono essere molto efficaci e possono prevenire una vita di disabilità. Se capiamo che durante gli anni dell'adolescenza il cervello rimane plastico, verrà meno l'idea che la gioventù sia «una causa persa»: al contrario, ciò ci offre l'ottimismo necessario per credere che un intervento possa modificare il corso della vita di un giovane.

Ulteriori studi potranno contribuire a fare luce. Le ricerche sull'adolescenza non sono ben sviluppate, i fondi scarseggiano e sono pochi i neuroscienziati specializzati in questa fascia d'età. La buona notizia è che, man mano che si chiariscono i meccanismi e i fattori che influenzano lo sviluppo del cervello degli adolescenti, aumentano le risorse e gli scienziati interessati a questi studi.

Capire che il cervello degli adolescenti è unico e in rapido cambiamento può aiutare i genitori, la società e gli stessi ragazzi a gestire meglio i rischi e a cogliere le opportunità dell'adolescenza. Sapere che le funzioni esecutive prefrontali sono ancora in costruzione, per esempio, potrebbe aiutare i genitori a non reagire esageratamente se la figlia si presenta con i capelli tinti di arancione, sapendo che c'è speranza per un maggior giudizio in futuro. La plasticità suggerisce inoltre che il dialogo tra genitori e ragazzi su temi come libertà e responsabilità può influenzare lo sviluppo.

La capacità intrinseca degli adolescenti di adattarsi pone alcune domande sull'impatto di uno dei cambiamenti ambientali più grandi della storia: la rivoluzione digitale, che ha influenzato profondamente il modo in cui gli adolescenti imparano, giocano e interagiscono. L'informazione è disponibile in quantità voluminose, ma la qualità varia in maniera significativa. L'abilità del futuro non sarà ricordare i fatti ma valutare in maniera critica una vasta mole di dati, distinguere il segnale dal rumore, sintetizzare i contenuti e applicare la sintesi alla soluzione di un problema nel mondo reale. Gli educatori dovrebbero mettere alla prova il cervello degli adolescenti con questi compiti, allenarne la plasticità a ciò che richiede l'era digitale.

La società potrebbe prestare maggiore attenzione allo sviluppo delle passioni, della creatività e delle abilità che caratterizzano l'unicità del periodo di sviluppo adolescenziale. La società dovrebbe inoltre rendersi conto che l'adolescenza è un punto di svolta, che può portare a una vita di cittadinanza pacifica o di aggressività o, in casi rari, di estremismo. In tutte le culture gli adolescenti sono i soggetti più vulnerabili al reclutamento di milizie e terroristi, ma sono anche quelli che possono essere più influenzati a seguire una carriera come insegnanti o ingegneri. Una maggiore comprensione del cervello degli adolescenti potrebbe aiutare giudici e giurie a raggiungere un verdetto nei processi penali.

Per gli adolescenti, queste nuove prospettive sulle neuroscienze dell'adolescenza potrebbero essere un incoraggiamento a mettere alla prova il proprio cervello rispetto al tipo di abilità nelle quali vorranno eccellere nella vita. Hanno tra le mani la meravigliosa opportunità di poter plasmare la loro identità e ottimizzare il loro cervello secondo le proprie scelte, per un futuro ricco di informazioni radicalmente diverso dalle vite odierne dei loro genitori. ■

PER APPROFONDIRE

The Primal Teen: What the New Discoveries about the Teenage Brain Tell Us about Our Kids. Strauch B., Doubleday, 2003.

Development of Brain Structural Connectivity between Ages 12 and 30: A 4-Tesla Diffusion Imaging Study in 439 Adolescents and Adults. Dennis E. L. e altri, in «NeuroImage», Vol. 64, pp. 671-684, 1 gennaio 2013.

Il cervello adolescente. Steinberg L., collana *La biblioteca delle scienze*, «Le Scienze», settembre 2015.

Penetrare i misteri della Terra

Misteri irrisolti del nostro pianeta potranno essere indagati grazie a particelle elementari sfruttate come sonde quantistiche per le profondità terrestri

di Gianpaolo Bellini, Paolo Strolin e Hiroyuki K.M. Tanaka

Le profondità della Terra hanno da sempre animato il naturale spirito di curiosità della specie umana. Per lungo tempo sono rimaste inaccessibili alla conoscenza, dando vita a credenze e a visioni fantascientifiche come già nel libro *Viaggio al centro della Terra* di Jules Verne (1864). Così dalle origini della cultura umana il «fuoco interno della Terra» è sempre stato presente in miti, religioni, filosofia e scienza, con credenze e interrogativi. Di questo e di altri misteri della Terra si occupa ora la scienza, cercando di «vedere».

Salvo Orlando/PhotoFVG/Corbis

Calore profondo.
Un evento parossistico dell'Etna avvenuto nel 2013. Le eruzioni vulcaniche sono uno dei fenomeni innescati dal calore interno del nostro pianeta.

IN BREVE

L'interno del nostro pianeta ha ancora molti aspetti da chiarire, nonostante la grande attività e le tante scoperte delle scienze della Terra. Ora un grande aiuto può venire da un ambito di ricerca apparentemente lontano, la fisica delle particelle, grazie a due tecniche sviluppate di recente e basate rispettivamente su muoni e geoneutrini, ovvero due particelle elementari.

I muoni, cugini più massicci degli elettroni, prodotti dall'impatto dei raggi cosmici con l'atmosfera, permettono di radiografare strutture interne dei vulcani altrimenti inaccessibili.

I geoneutrini, antineutrini prodotti dal decadimento di elementi radioattivi terrestri, possono fornire agli scienziati informazioni su composizione, origine ed evoluzione della Terra.

Il 14 novembre dello scorso anno il «Japan Times» ha pubblicato un articolo con il titolo: *Italia e Giappone promuovono la cooperazione nelle scienze della Terra usando la fisica*. Si riferiva alla firma di un accordo tra Istituto nazionale di fisica nucleare (INFN) e Istituto nazionale di geofisica e vulcanologia (INGV) con l'Earthquake Research Institute (ERI) dell'Università di Tokyo per «allearе» forze e competenze nell'indagare l'interno dei vulcani e le profondità della Terra sfruttando nuove possibilità offerte dalle particelle elementari, in particolare da muoni e neutrini.

L'alleanza ha un duplice aspetto: unisce Italia e Giappone, entrambi soggetti a terremoti ed eruzioni vulcaniche e all'avanguardia nelle ricerche in questi ambiti; unisce scienze della Terra e fisica delle particelle elementari nello studio di fenomeni che interessano tutta la popolazione. Si ritrova così anche lo spirito di «unità della scienza», che è all'origine della nostra cultura e che tende a perdersi con l'inevitabile divaricarsi nelle specializzazioni.

La firma dell'accordo è avvenuta a conclusione del convegno Muographers 2014 ospitato dall'Ambasciata dell'Italia a Tokyo, in cui scienziati italiani e giapponesi hanno discusso della «muografia» di vulcani e delle potenzialità dei «geoneutrini», vettori di informazioni sul calore che si sprigiona nelle profondità della Terra e sui fenomeni a esso collegati. Sono nuove sfide scientifiche che richiedono nuove alleanze e sinergie.

La scienza esplora il cosmo, ma anche l'interno della Terra è ancora denso di misteri. Qual è la sorgente di energia, ossia calore, che alimenta il fuoco interno del nostro pianeta? È solo calore primordiale, emanato da quel che resta dal patrimonio energetico avuto in dote dalla Terra con la sua formazione, avvenuta oltre 4 miliardi di anni fa? I geoneutrini possono dirci qualcosa?

Il calore interno del pianeta alimenta i moti convettivi della materia fluida nel mantello terrestre sottostante alla crosta, come la caldaia fa circolare l'acqua in un impianto di termosifone. Questo fenomeno influisce sulla tettonica delle placche, con i conseguenti terremoti e i fenomeni vulcanici. Inoltre le eruzioni dipendono dalle strade che magma e materiale surriscaldato trovano per uscire. È quindi anche importante individuare queste strade nella struttura interna dei vulcani.

Gli interrogativi sono dunque pratici, non solo speculativi. Sebbene il bilancio energetico della Terra sia dominato dal calore assorbito dal Sole (circa il 99,97 per cento), il calore emanato dall'interno dà vita propria al nostro pianeta, differenziandolo dagli altri e fornendo energia motrice a importanti, talvolta devastanti, fenomeni che influiscono su noi esseri viventi sulla superficie terrestre. Vediamo che cosa muoni e geoneutrini possono fare per noi.

Muografia di vulcani

I muoni, indicati anche con la lettera greca μ, sono fratelli maggiori degli elettroni, con massa circa 200 volte più grande. Muoni di alta energia sono prodotti di continuo nelle interazioni di particelle di altissima energia provenienti dal cosmo (i cosiddetti «raggi cosmici») con particelle dell'alta atmosfera terrestre.

Nella radiografia, la trasmissione dei raggi X nell'attraversare il corpo umano mostra le ombre degli organi interni di maggiore spessore o densità, per esempio ossa, e la presenza di cavità, per esempio carie dentali. I muoni di alta energia hanno un'interazione più debole con la materia rispetto ai raggi X e un forte potere di penetrazione, ma analoghe manifestazioni nella trasmissione. Possono essere usati per esplorare mediante muografie strutture interne su dimensioni molto più grandi di quelle del corpo umano.

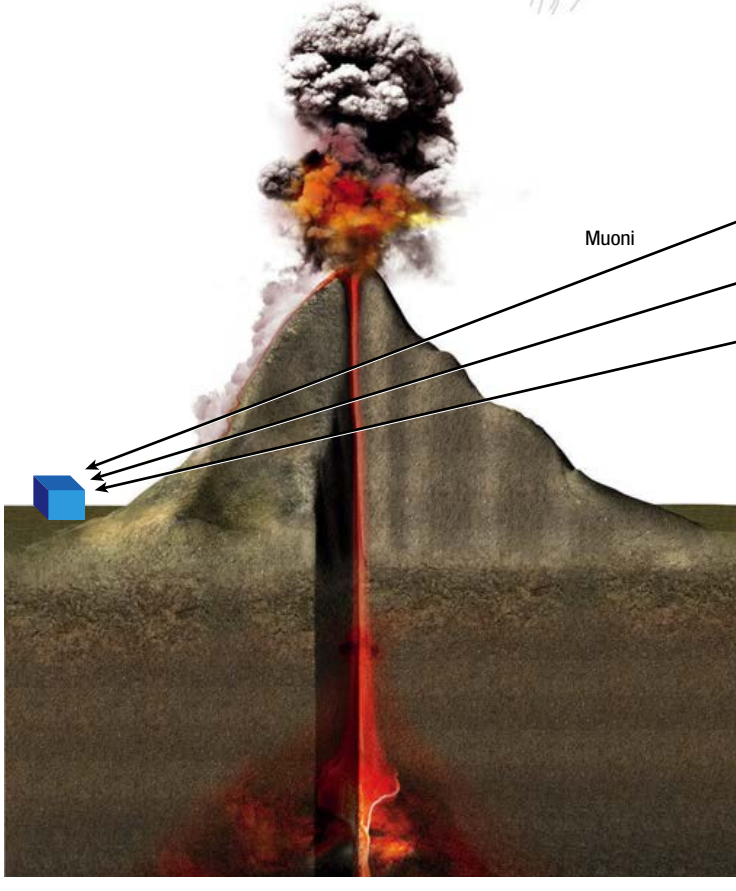
L'idea di usare i muoni per rivelare strutture interne altrimenti inaccessibili fu introdotta in archeologia verso il 1970 da Luis Álvarez (premio Nobel nel 1968 per contributi alla fisica delle particelle elementari) per la ricerca di camere mortuarie ignote nella piramide di Chefren in Egitto. La muografia fu fatta rivelando i muoni passati attraverso la piramide, proiettando all'indietro la loro traiettoria e studiando la loro trasmissione (*si veda il box a p. 62*).

Ma se i muoni erano usati per studiare le piramidi, perché non usarli anche per i vulcani? Certo, in questo caso la spessore di materia da attraversare è molto più grande: fra i muoni prodotti dai raggi cosmici, solo quelli di energia più elevata, che sono anche i più rari, possono farlo. Così è nata l'idea di usare la muografia per ottenere immagini della struttura interna superiore dei vulcani,

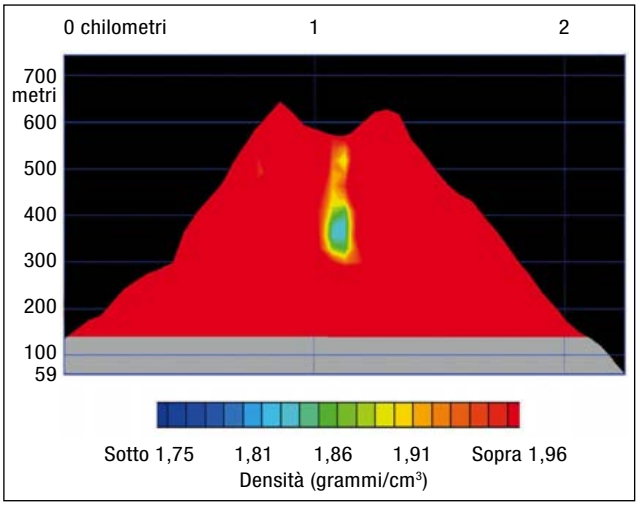
Gianpaolo Bellini è un fisico sperimentale nel campo delle particelle elementari e delle astroparticelle, ha lavorato nei principali laboratori del mondo, ottenendo importanti scoperte. È scienziato emerito dell'Istituto nazionale di fisica nucleare e membro dell'Istituto Lombardo Accademia di Scienze e Lettere.

Paolo Strolin è professore emerito all'Università degli Studi di Napoli «Federico II» e Istituto nazionale di fisica nucleare. Ha condotto importanti esperimenti in fisica del neutrino e sviluppi in muografia di vulcani. Presiede l'Associazione «Scienza e Scuola».

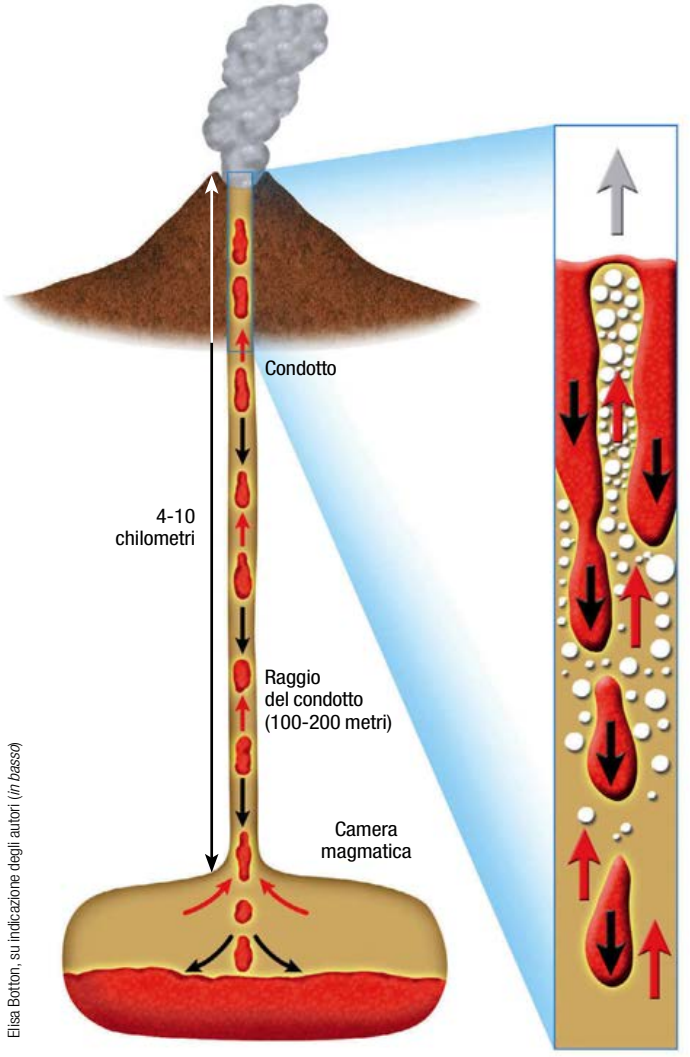
Hiroyuki K. M. Tanaka è professore di geofisica con particelle di alta energia all'Università di Tokyo. È un pioniere nell'applicazione della fisica nucleare e della fisica delle particelle per osservazioni della Terra.



Claus Lunau/SPL/Contrasto (*elaborazione «Le Scienze»*)



L'occhio dei muoni. Immagine muografica del vulcano giapponese Satsuma-Iwojima. Sotto il fondo del cratere è visibile una regione a bassa densità, grande e poco profonda, che indica la presenza di magma in degasaggio con alta percentuale di bolle. Qui sotto, il modello convettivo di magma in un condotto a bassa profondità. A fronte, schema di una muografia vulcanica.



Elisa Botton, su indicazione degli autori (*in basso*)

evidenziando per esempio zone a bassa densità o condotti. Questa capacità di fornire immagini relativamente dirette e accurate è un passo avanti nelle tecniche di studio dei fenomeni vulcanici. Poiché i raggi cosmici investono la Terra da tutte le direzioni, ci sono anche muoni quasi orizzontali alla superficie che possono essere sfruttati per muografie di strutture emergenti dalla superficie, come l'edificio di un vulcano, tracciando all'indietro le traiettorie dei muoni attraverso quelle strutture (*si veda l'immagine in alto in questa pagina*).

La muografia dei vulcani ha avuto uno sviluppo progressivo. Nel 1995, cioè 25 anni dopo Álvarez, il rapporto su una ricerca sperimentale fatta in Giappone da Kanetada Nagamine dell'Università di Tokyo concludeva che «è stato dimostrato che muoni quasi orizzontali, prodotti dai raggi cosmici, possono essere usati per esplorare l'interno di una gigantesca struttura geofisica, come la parte superiore di un vulcano». La prima importante prova sperimentale della muografia ha avuto come oggetto la parte sommitale del monte Asama, in Giappone. Questa muografia è stata effettuata nel 2007 da uno degli autori (Tanaka) in collaborazione con Kimio Niwa, dell'Università di Nagoya, sfruttando per la rivelazione dei muoni gli sviluppi della tecnica delle «emulsioni fotografiche nucleari» condotti per OPERA, un esperimento sulla fisica dei neutrini installato nel laboratorio sotterraneo del Gran Sasso dell'INFN.

La muografia non può evidenziare la struttura profonda di un vulcano, come una camera magmatica, ma solo parti relativamente poco profonde. Di conseguenza non dà informazioni su quando può avvenire un'eruzione, ma dà informazioni utili per capire come può manifestarsi. In particolare le immagini muografiche possono evidenziare zone a bassa densità sotto un deposito di magma solidificato e indicare possibili vie d'uscita per il magma.

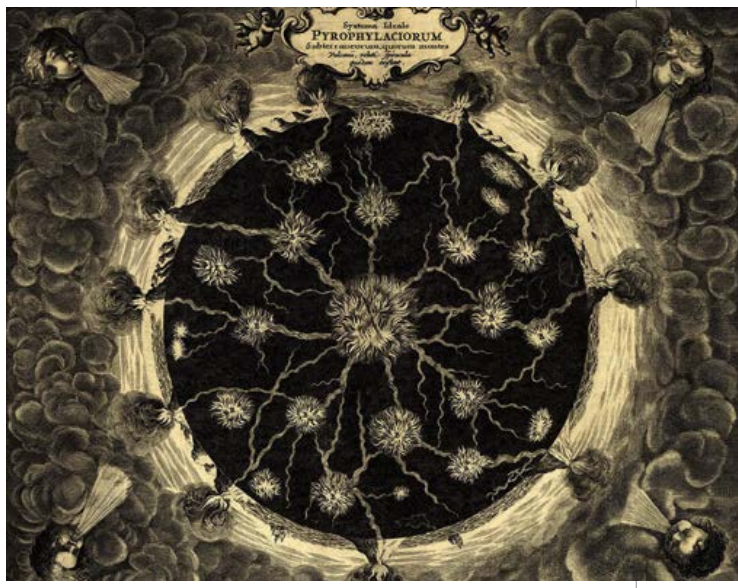
Un esempio dei vantaggi per la comprensione della dinamica eruttiva è stato fornito da uno di noi (Tanaka) con la muografia del vulcano Satsuma-Iwojima, in Giappone, che scarica di continuo grandi quantità di gas vulcanici senza significativa uscita di magma. L'immagine muografica (*in alto a sinistra in questa pagina*) ha evidenziato una regione a bassa densità nel punto più alto del condotto magmatico, in accordo con un modello convettivo che indica la presenza di magma in degasaggio. Nel modello convettivo di Kohei Kazahaya, Hiroshi Shinohara, Genji Saito, tutti e tre della Geological Survey of Japan, un condotto di magma è collegato a una camera magmatica profonda (*si veda l'illustrazione qui a fianco*). Il magma è spinto verso l'alto da una componente gassosa. Nella parte superiore del condotto il gas si libera dal magma ed esce dal vulcano. Non più spinto dalla componente gassosa, il magma affonda, e quindi non ostruisce il condotto. Nello stesso tempo, nuovo magma è pompato dal gas e il ciclo continua. Lo stesso gruppo ha effettuato altre indagini muografiche di vulcani giapponesi. Citiamo inoltre le indagini di Dominique Gibert, dell'Università di Rennes, con la collaborazione DIAPHANE sul vulcano La Soufrière a Guadalupa, nelle Antille francesi.

Attualmente sono in corso esperimenti per capire a fondo le potenzialità della muografia nello studio dei vulcani e progredire nel suo sviluppo per estenderne il campo di applicazione. Questo richiede una nuova generazione di rivelatori con migliori prestazioni, e gli addetti ai lavori procedono secondo due direzioni. Una è lo studio dello sviluppo temporale di eruzioni vulcaniche, dove lo spessore di roccia penetrato dai muoni resti limitato a circa mezzo chilometro. La necessaria maggiore velocità nell'accumulare dati richiede che sia intercettato un maggior flusso di muoni, e questo richiede a sua volta un aumento dell'area coperta dagli

Il fuoco interno della Terra

L'idea di un «fuoco interno della Terra» è già presente nell'antica mitologia greca, nel cui mondo sotterraneo dei morti, l'Ade, c'erano cinque fiumi: Stige, Lete, Cocito, Acheronte e Piriflegetonte (ossia ardente di fuoco). Nel IV secolo a.C. Platone collega il vulcanismo al Piriflegetonte: «Avvoltosi dunque più volte intorno alla Terra, s'immette sottoterra più in basso del Tartaro; questo fiume, dunque, è quello che denominano Piriflegetonte, cui rivoli sono anche gli spruzzi di lava che affiorano dove capita sulla terra» (*Fedone*, 32-113b). Il Tartaro citato da Platone è il profondo luogo dei dannati da Zeus, «tanto lontano dall'Ade quanto la terra dal cielo» (Omero, *Iliade*, VIII-13).

Il fuoco interno della Terra entra nella scienza nel XVII secolo con Athanasius Kircher, di qualche decennio posteriore a Galileo Galilei. Il suo genio eclettico spaziò dall'egittologia, alla geologia, alla medicina e non solo. Osservazioni sui vulcani fecero postulare a Kircher l'esistenza di un «fuoco» all'interno della Terra, che alimenta il vulcanismo attraverso una serie di canali e camere infuocate intermedie. I «monti vulcani« sono considerati «sfiatatoi« del fuoco interno del nostro pianeta, come descrive nella sua opera *Mundus subterraneus* del 1664.



Il mondo di Kircher. Il sistema di canali ignei sotterranei, di cui i vulcani sono come sfiatatoi, in *Mundus subterraneus*.

apparati sperimentali che rivelano i muoni (finora dell'ordine di un metro quadrato). Inoltre si cerca di aumentare la definizione delle immagini muografiche, aumentando la precisione nel tracciamento all'indietro delle traiettorie di queste particelle nel vulcano.

Un'altra direzione è l'estensione delle indagini a vulcani che richiedono muoni penetranti attraverso spessori di roccia più grandi, quindi di maggior energia. Il loro flusso si affievolisce con l'energia (come dicevamo i muoni più energetici sono anche i più rari), e i falsi segnali provocati da effetti spuri (il cosiddetto «fondo») diventano via via dominanti. L'effetto è simile a quello di una persona che cerca di captare un'esile voce in una stanza piena di rumori. In questa situazione non basta disporre di rivelatori che coprano un'area più grande, ma bisogna ridurre anche i segnali spuri. Il vulcano francese Puy de Dôme è stato oggetto di misurazioni di prova su spessori di roccia tra 1 e 1, 5 chilometri, in cui sono stati usati prototipi incompleti rispetto agli apparati previsti dalle collaborazioni MU-RAY e TOMUVOL, condotte rispettivamente da Giulio Saracino, dell'Università di Napoli «Federico II» e dell'INFN, e Cristina Cârloganu del francese Centre national de la recherche scientifique (CNRS). In entrambi i casi l'analisi ha mostrato che il fondo è troppo elevato. Il risultato è in accordo con altre indicazioni, e mostra che è necessario un ulteriore sforzo per ridurre gli effetti spuri. Ecco perché è in fase di sviluppo una nuova generazione di apparati sperimentali con area più ampia e nuove metodologie per la riduzione del rumore di fondo.

La diffusione della muografia richiede anche sviluppi nella trattazione, comprensione e interpretazione dei dati sperimentali ricavati da una comunità internazionale di scienziati. E la collaborazione tra MU-RAY e TOMUVOL è un passo in questa direzione.

Complessivamente il futuro della muografia di vulcani dipenderà da uno sforzo coerente e sinergico di una forte comunità internazionale di fisici delle particelle elementari e di geofisici, al fine di sfruttarne in pieno il potenziale e portarla da campo di ricerca pionieristico a strumento di indagine geofisica largamente usato. Notiamo infine che i progressi nella muografia di vulcani hanno stimolato applicazioni in altri campi. Un esempio è un progetto della NASA per la muografia di asteroidi nel sistema solare con dimensioni fino a un chilometro. Si basa sullo studio della trasmissione dei muoni prodotti in strati superficiali dell'asteroide dall'impatto di particelle di alta energia provenienti dal cosmo.

Lo studio delle particelle elementari chiamate geoneutrini offre nuove possibilità per rispondere a domande su composizione, origine ed evoluzione del nostro pianeta

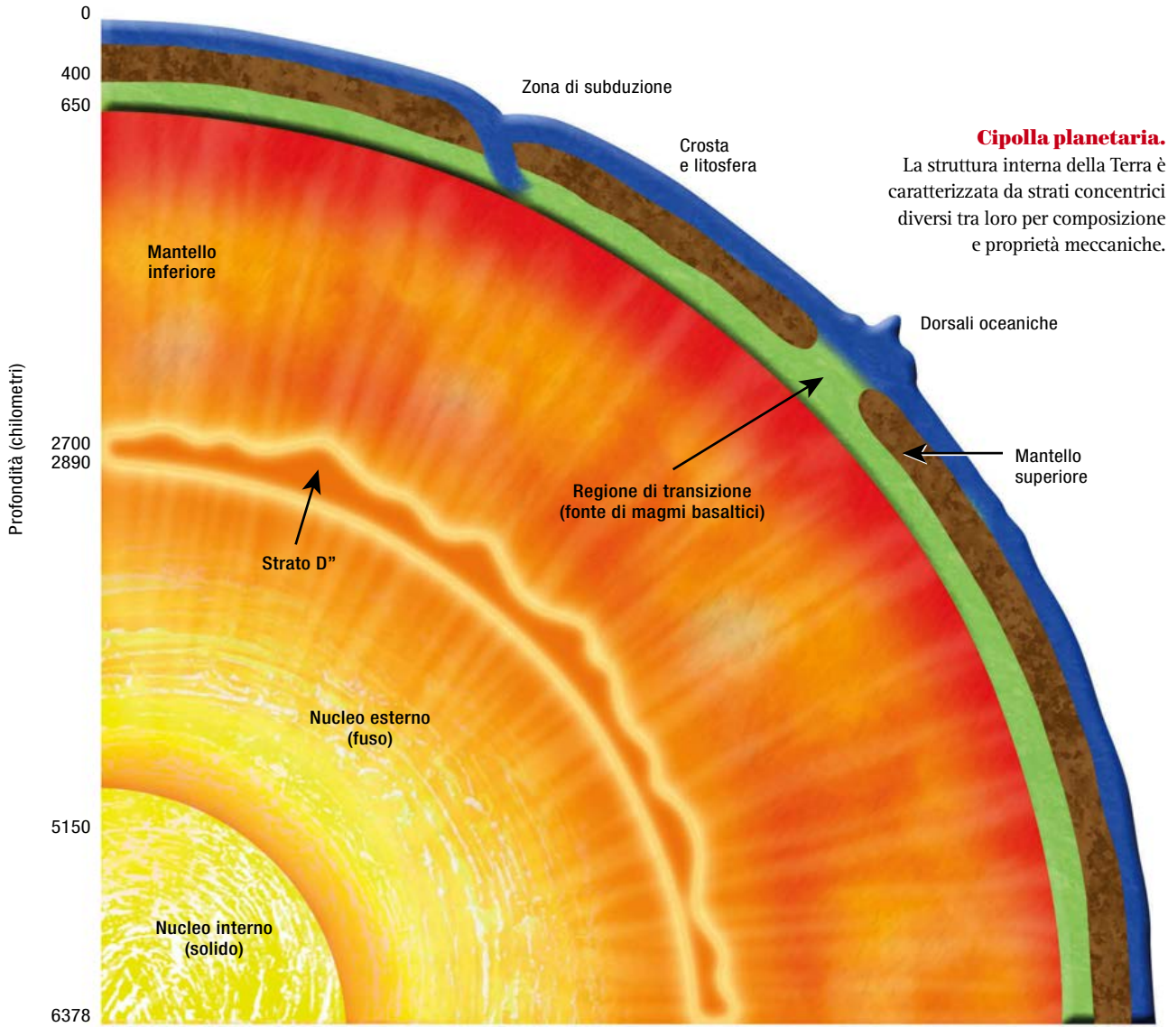
I geoneutrini

All'interno del nostro pianeta le temperature raggiungono livelli di qualche migliaio di gradi, e il nostro pianeta invia nello spazio, attraverso la sua superficie, una grande quantità di calore. Una parte consistente di questo calore è prodotta dai decadimenti radioattivi presenti in notevole quantità all'interno della Terra.

Da dove viene questa informazione? Come facciamo a indagare a migliaia di chilometri sotto la crosta terrestre? Come vedremo, metodi geofisici e geochimici possono fornirci informazioni, ma rileviamo la presenza di elementi radioattivi grazie ai neutrini che provengono dall'interno della Terra. I neutrini, particelle elementari senza carica e di massa praticamente trascurabile, agiscono come formidabili sonde, dato che sono capaci di attraversare grandi quantità di materia (addirittura tutto l'universo) senza subire alterazioni, perché non interagiscono con la materia.

I nuclei atomici instabili che decadono, cioè si trasformano in altri nuclei di massa minore rispetto a quella di partenza, nel farlo emettono più precisamente le antiparticelle dei neutrini, gli an-

Corbis



Cipolla planetaria. La struttura interna della Terra è caratterizzata da strati concentrici diversi tra loro per composizione e proprietà meccaniche.

tineutrini, liberando energia corrispondente alla diminuzione di massa (secondo la relazione di equivalenza fra massa ed energia di Einstein). Questa energia si manifesta sotto forma di calore. Poiché le reazioni di decadimento sono conosciute, rivelando gli antineutrini emessi dalla Terra è possibile valutare quanto del calore terrestre, il calore emesso dalla Terra nell'unità di tempo, sia dovuto alla radioattività. Questi antineutrini terrestri sono detti «geoneutrini».

La Terra è come una grande cipolla, composta da strati concentrici che differiscono fra loro per composizione o per proprietà meccaniche, separati in qualche caso da una regione di transizione (*si veda l'illustrazione in alto*). Il nucleo interno, al centro della Terra, è grande circa come la Luna, è costituito da ferro e nichel ed è solido, malgrado l'altissima temperatura, a causa dell'enorme pressione a cui è sottoposto. È circondato da un nucleo esterno di uguale composizione e spesso circa 2200 chilometri, non più solido ma viscoso. Ruotando intorno al nucleo interno, il nucleo esterno si comporta come una grande dinamo (geo-dinamo).

Il nucleo è circondato dall'enorme mantello, viscoso e di materia silicea con elevata presenza di magnesio e in quantità minore di ferro. Il mantello inferiore è spesso circa 3100 chilometri, mostra gradienti elevati di temperatura, forse dovuti anche a giacimenti radioattivi di torio e uranio, che producono movimenti di grandi quantità di materia, i moti convettivi, che a loro volta causano i movimenti delle placche tettoniche, e quindi terremoti, e fenomeni vulcanici. Dopo un altro strato di soli 250 chilometri che rappresenta il mantello superiore c'è la crosta: di gran lunga lo strato più sottile, composto di materia solida, su cui viviamo. Il suo spessore è di soli 10 chilometri circa per la crosta oceanica e da 30 a 70 chilometri per quella continentale.

Ma ancora una volta potreste chiedervi come facciamo a ottenere queste informazioni sulla struttura della Terra. Le metodiche si basano sullo studio delle onde sismiche e su analisi geochimiche. Modo di propagarsi, comportamento, direzionalità e velocità delle onde sismiche ci dicono se la materia attraversata è liquida o solida e qual è la sua densità, per esempio i movimenti sussultori non si propagano in materia non solida. Le analisi geochimiche sono limitate per lo più alla crosta e sono effettuate su materiale ottenuto con trivellazioni che penetrano il sottosuolo per qualche chilometro, quindi non arrivano al mantello. La più profonda è una trivellazione di 12 chilometri nella penisola di Kola, in Russia.

Qualche informazione sul mantello è fornita dalle rocce espulse nelle eruzioni vulcaniche, che però possono aver subito alterazioni e sono abbastanza limitate al mantello superiore. Inoltre, ipotizzando che la materia che forma il sistema solare sia uniforme, si studia la composizione delle «meteoriti condritiche», che contengono piccole sfere, chiamate «condruli», della stessa età della Terra, circa 4,6 miliardi di anni. Questi condruli mantengono la composizione originaria del sistema solare, e quindi della Terra dei primordi, essendosi raffreddati rapidamente subito dopo la formazione.

Il calore terrestre è valutato misurando il gradiente di tempe-

Elisa Botton, su indicazione degli autori

Dallo spessore della roccia alle camere nascoste

L'idea di sfruttare i muoni prodotti dai raggi cosmici è stata applicata per la prima volta circa sessant'anni fa da E.P. George, il quale voleva valutare lo spessore di roccia sopra un tunnel dell'impianto idroelettrico nella Snowy Mountain, in Australia. A questo scopo George voleva misurare la riduzione del flusso dei muoni dopo che queste particelle avevano attraversato la roccia. L'apparato sperimentale era costituito da rivelatori di particelle chiamati «contatori Geiger», la cui risoluzione angolare però era inadeguata a fornire un'immagine di qualsiasi struttura all'interno della roccia sovrastante.

Questa tecnica è stata promossa a «muografia» dal fisico statunitense Luis Alvarez, che nel 1968 ha ricevuto il Nobel per le sue scoperte in fisica delle particelle, con la ricerca di una camera nascosta nella piramide di Chefren a Giza, in Egitto. L'articolo pubblicato su «Science» nel 1970 dice: «La novità principale dei rivelatori di raggi cosmici usati è la loro capacità di misurare con grande precisione gli angoli di arrivo dei muoni penetranti da raggi cosmici, su una vasta area sensibile [...] Solo dopo l'invenzione delle "camere a scintilla" con lettura digitale un tale loro uso è stato considerato come una possibilità reale».

Alvarez si era chiesto come mai la piramide di Chefren avesse solo una camera di sepoltura (la cosiddetta camera di Belzoni) mentre la piramide vicina di suo padre Cheope aveva una struttura interna più complessa, tra cui una camera del Re e una della Regina. I suoi calcoli mostravano che una camera nascosta sarebbe stata vista da muoni prodotti da raggi cosmici, osservati in un rivelatore costituito di camere a scintilla e situato nella camera di Belzoni, allo stesso modo in cui una carie dentaria è evidenziata da una zona nera in un'immagine ai raggi X. Nel 1966 iniziò un progetto congiunto tra Stati Uniti e Repubblica Araba Unita, la denominazione di allora dell'Egitto. Anche se non fu trovata alcuna camera nascosta, questo lavoro pionieristico ha aperto la strada all'applicazione della muografia in vari campi.

ratura, ovvero la variazione, lungo i carotaggi. Questa valutazione converge su un valore di 47 terawatt (10^{12} watt). Altri approcci portano invece a risultati diversi. Ma quanto di questo calore è prodotto dai decadimenti radioattivi? Rispondere a questa domanda è uno degli obiettivi della ricerca sui geoneutrini.

Se la stragrande maggioranza dei neutrini può attraversare grandi masse di materia senza esserne disturbata, come facciamo rilevare queste particelle? Innanzitutto, i rivelatori devono avere una grande massa per avere una probabilità non trascurabile di interagire con i neutrini. Inoltre, poiché comunque il numero di interazioni è assai basso, è necessario che non ci siano altre particelle che possano simulare e mascherare le poche interazioni dei neutrini (il cosiddetto «fondo»). Per ridurre il fondo, i rivelatori devono essere installati in un laboratorio sotterraneo, in modo che siano schermati dalle rocce sovrastanti, che assorbono gli sciami di particelle prodotte dall'urto dei raggi cosmici con l'atmosfera terrestre. I rivelatori devono anche essere schermati dalle radiazioni emesse dai nuclei radioattivi nelle rocce in cui sono state scavate le sale sperimentali, dai materiali che ci sono in queste sale e da quelli usati per costruire il rivelatore. Ma per la «radio-purezza» del rivelatore è ancora più importante che sia soppressa al massimo la radioattività naturale nella parte in cui le interazioni delle particelle possono essere rilevate.

Finora solo due esperimenti sono stati capaci di studiare i geoneutrini: Borexino, nei Laboratori nazionali del Gran Sasso dell'INFN, in Italia; e KamLAND, nella miniera di Kamioka-Mozumi, in Giappone. I neutrini sono rivelati tramite la flebile luce generata in uno speciale liquido detto «scintillatore» dalle particelle elettricamente cariche prodotte nei loro urti con la materia da cui è costituito.

In realtà Borexino è un esperimento ideato per lo studio dei neutrini prodotti nelle reazioni nucleari all'interno del Sole, di energia molto più bassa rispetto a quella dei geoneutrini. Questo rivelatore è unico al mondo per la radio-purezza raggiunta, che costituisce un record assoluto, e il volume dello scintillatore liquido è di circa 300 metri cubi. Lo scopo originario di KamLAND è invece lo studio dei neutrini mediante antineutrini prodotti dai reattori nucleari, che in media hanno energie superiori a quelle dei geo-neutrini. Il volume dello scintillatore è di circa 1000 metri cubi, ma la radio-purezza è molto più bassa di quella di Borexino.

C'è da sottolineare che un importante fondo che disturba le misurazioni di geoneutrini è dovuto agli antineutrini provenienti dai reattori nucleari installati in tutto il mondo, ma soprattutto nelle zone più vicine al sito dove è installato il rivelatore. Per questo motivo Borexino è decisamente favorito rispetto a KamLAND, che è circondato dai numerosi reattori giapponesi.

Per avere un'idea di quanti siano i geoneutrini, è utile fare un confronto con quelli solari. Il Sole investe la Terra con circa 60 miliardi di neutrini al secondo per centimetro quadrato. Di questa enorme quantità di neutrini solari Borexino osserva solo circa 45 interazioni al giorno, mentre rileva un'interazione di geoneutrini ogni due mesi circa, un numero incredibilmente piccolo, ottenuto grazie alla sensibilità elevata del rivelatore.

La scoperta dei geoneutrini apre nuove importanti possibilità per esplorare le proprietà dell'interno della Terra, contribuendo a rispondere a domande su composizione, origine ed evoluzione del pianeta. Sappiamo che nella crosta terrestre ci sono nuclei radioattivi. Per ragioni di affinità chimica potrebbero esserci anche nel mantello (non nel nucleo). La prima domanda riguarda l'effettiva presenza di nuclei radioattivi anche nel mantello e quindi il contributo dei loro decadimenti al calore globale terrestre.

Per capire meglio l'origine della Terra e del sistema solare, è poi importante conoscere il rapporto fra le quantità di torio e uranio radioattivi che si trovano nella materia terrestre e confrontarlo con quello misurato nelle meteoriti condritiche.

Infine si cerca di stabilire la validità dei modelli terrestri (detti *bulk silicate Earth*, BSE) elaborati dai geofisici, che si articolano in tre diversi approcci: cosmo-chimico, che assume come base per la composizione chimica della materia terrestre quella delle meteoriti; geochimico, che assume anch'esso la composizione chimica delle meteoriti condritiche, ma tiene conto anche della composizione delle rocce provenienti dal mantello; geodinamico, che tiene conto dell'energia dei moti convettivi del mantello.

Per rispondere alla domanda sulla radioattività nel mantello, oltre alla misurazione del flusso totale di geoneutrini, bisogna conoscere anche il flusso che proviene dalla crosta vicina e da quella lontana rispetto al sito del rivelatore. A questo scopo gli scienziati analizzano le rocce del sito e studiano la struttura geologica della crosta conoscendo le rocce che la compongono. Nel complesso, i dati di Borexino e KamLAND hanno dato un'indicazio-

La piramide di Chefren è alta circa 140 metri. Il rivelatore di muoni progettato da Alvarez era situato nella camera di Belzoni, e rilevava muoni provenienti dall'alto attraverso uno spessore di materiale mediamente dell'ordine di 100 metri.

Vanni Archive/Corbis

ne positiva di radioattività dal mantello, ma con un'incertezza ancora rilevante.

Il contributo dei decadimenti radioattivi al calore terrestre può essere dedotto dalla radioattività del mantello e dal contributo della crosta. Purtroppo le incertezze sulla distribuzione degli elementi radioattivi nel mantello – distribuzione omogenea oppure concentrazione nella parte a ridosso del nucleo – producono un margine di incertezza ancora grande in questa valutazione.

Il rapporto dei segnali provenienti rispettivamente da uranio e torio nelle meteoriti condritiche è pari a 3. Lo stesso rapporto risulta di 2,5 in base allo studio della distribuzione di energia dei geo-neutrini effettuato da Borexino. Tenuto conto dell'incertezza sperimentale esso è compatibile con il rapporto condritico, come lo è la misura effettuata da KamLAND, sebbene affetta da una maggiore incertezza sperimentale. Infine i risultati ottenuti fino a oggi sembrano favorire l'approccio biochimico fra i modelli BSE.

È evidente che per ottenere risultati più robusti occorre disporre di un maggior numero di interazioni di geoneutrini. Borexino e KamLAMD continuano a raccogliere dati. Ma altri esperimenti sono in preparazione o in progetto: SNO+, nel laboratorio sotterraneo di Sudbury, in Canada, e soprattutto HanoHano, da immergere nelle profondità dell'Oceano Pacifico presso le Hawaii. Quest'ultimo esperimento è particolarmente importante e ambizioso perché dovrebbe essere installato in una zona della crosta oceanica sopra cui il 70 per cento del flusso di geoneutrini proviene dal mantello.

Lo studio dei geoneutrini ha aperto un nuovo campo di ricerca sulla struttura della Terra. I risultati ottenuti fino a oggi sono solo l'inizio. Nei prossimi anni saranno disponibili nuovi dati prodotti da Borexino, KamLAND e SNO+, e saranno dati che potrebbero risolvere qualcuno dei misteri che ancora aleggiano in questo campo. Di sicuro una rete di rivelatori capaci di produrre una mappa mondiale del flusso di neutrini potrebbe dare informazioni utili sullo spostamento del calore nel mantello e quindi sui movimenti convettivi al suo interno, che come già accennato sono la causa dei movimenti delle placche tettoniche e dei fenomeni vulcanici. Tuttavia va anche specificato che questi rivelatori sono costosi, e necessitano di un notevole sforzo di fisici e ingegneri. Soltanto interessi congiunti con scopi di ricaduta sulla vita delle persone potrebbero dare la spinta necessaria alla costruzione di una rete di questo tipo.

Sonde quantistiche

L'indagine sulle caratteristiche dell'interno della Terra è stata un'area di ricerca particolarmente attiva, e nel corso del XX secolo ha usato sonde classiche come le onde sismiche. La tomografia sismica ha rivelato, per esempio, che la Terra ha una struttura a strati composta da nucleo, mantello e crosta.

Procedendo nel XXI secolo, la ricerca potrebbe espandersi usando sonde quantistiche, muoni da raggi cosmici e geoneutrini, e svelare proprietà altrimenti inaccessibili. La muografia è nata oltre quarant'anni fa con un'applicazione in archeologia, e di recente ha registrato un notevole progresso in vulcanologia, sfruttando tecniche sperimentali sviluppate per la fisica delle particelle elementari. Sempre di recente sono stati scoperti i geoneutrini, grazie a esperimenti sotterranei in Italia e in Giappone progettati per indagini in fisica e astrofisica, anch'esse collegate alle particelle elementari. Il potenziale di queste sonde quantistiche come strumenti per le scienze della Terra inizia a essere riconosciuto.

Circa tre millenni di storia umana dopo il Piriflegetonte dell'antica Grecia (*si veda il box a p. 60*), vi sono ancora molti misteri irrisolti che riguardano il nostro pianeta e il suo fuoco interiore. Potremmo ottenere grandi scoperte con muografia e geoneutrini. Entrambi implicano ingegno sperimentale e progetti dedicati, che possono diventare realtà solo attraverso alleanze tra fisici delle particelle elementari e scienziati della Terra.

Lo spirito di unità della scienza ha caratterizzato l'opera di grandi scienziati attraverso i millenni. Tuttavia il progresso scientifico ha richiesto una specializzazione in discipline, che domina solo da circa un secolo. Il nuovo approccio necessario per esplorare l'interno della Terra con sonde quantistiche, con alleanze tra i diversi campi di ricerca, è quindi coerente con le radici e la storia della cultura scientifica. ■

PER APPROFONDIRE

Search for Hidden Chambers in the Pyramids. Alvarez L.W. e altri, in «Science» Vol. 167, n. 3919, pp. 832-839, 6 febbraio 1970.

Introductory Muon Science. Nagamine K., Cambridge University Press, 2007.

Eyeing the Earth with neutrinos. Bellini G. e Ludhova L., in «Physics World», Vol. 25 n. 3 p. 44-48, marzo 2012.

Geo-neutrinos. Bellini G., Ianni A., Ludhova L., Mantovani F., McDonough W.G., in «Progress in Particle and Nuclear Physics», Vol. 73, pp. 1-34, novembre 2013.

SALUTE PUBBLICA

Il nemico della dengue

Gli scienziati immunizzano le zanzare contro questa malattia grazie all'aiuto di un batterio piuttosto diffuso

di Scott O'Neill

Scott O'Neill è preside della facoltà di scienze alla Monash University in Australia ed è a capo di un progetto Eliminate Dengue, una collaborazione internazionale che usa il batterio *Wolbachia*.

Il momento migliore della giornata per liberare le zanzare nel nord dell'Australia è a metà mattina. Più tardi nel corso della giornata il vento potrebbe spazzare via gli insetti e vanificare ogni speranza che possano trovare un partner con cui accoppiarsi. Liberandole prima, invece, bisognerebbe pagare uno straordinario agli operatori incaricati di portare in giro i contenitori pieni di zanzare e di aprirli. Così, in un bollente mattino di gennaio, al culmine dell'estate australiana, sono salito sul mio furgoncino bianco con migliaia di zanzare stipate in contenitori Tupperware sul sedile posteriore.

Una volta alla settimana, per circa tre mesi, nel 2011, facevamo viaggi come questo per liberare zanzare. Ci concentravamo su due comunità nella cittadina di Cairns, un famoso polo turistico vicino al Great Barrier Reef. Ogni quattro case, dove i residenti avevano accettato di partecipare al nostro studio, prendevamo un contenitore pieno di zanzare dal furgoncino, toglievamo il coperchio e liberavamo circa 50 insetti.

Non erano zanzare comuni. Ognuna era stata infettata con un microbo chiamato *Wolbachia*, un batterio comune che vive nelle cellule degli insetti. Per i nostri scopi, la caratteristica più interessante di *Wolbachia* è la sua capacità di bloccare il virus che causa la febbre dengue, impedendogli di replicarsi nei tessuti della zanzara. Dato che il virus non riesce a replicarsi, gli insetti non lo trasmettono alle loro vittime e la malattia non si diffonde.

Infettare zanzare con un batterio è un modo complicato per combattere la dengue, ma lo facciamo perché altrimenti le opzioni disponibili sarebbero poche. La dengue, soprannominata «febbre spaccaossa» per il dolore lancinante che causa, infetta 390 milioni di persone ogni anno. Poiché non esistono cure e nemmeno farmaci, la strategia principale è sempre stata aggredire *Aedes aegypti*, la zanzara che trasmette il virus. Tuttavia, insetticidi comuni come temefos (o temephos) hanno perso gran parte della loro efficacia via via che le zanzare hanno sviluppato una resistenza. Anche le zanzariere da letto sono quasi inutili, perché di solito *Aedes aegypti* si alimenta durante il giorno. Al momento, uno degli strumenti più promettenti per arrestare la diffusione della dengue – e forse della malaria e di altre malattie veicolate da zanzare – sembra essere la diffusione di *Wolbachia* fra le zanzare selvatiche.

Wolbachia non è affatto una scelta ovvia nella lotta contro la dengue. Questo batterio non è un ospite naturale delle zanzare che più spesso trasmettono la febbre dengue. In realtà abbiamo dovuto infettare queste zanzare in modo artificiale, in laboratorio. In altre parole, usiamo *Wolbachia* per immunizzare questi insetti contro la dengue, e in seguito li liberiamo in natura, dove (o almeno così speriamo) le zanzare trasmetteranno il batterio alla loro progenie.

Wolbachia è in gran parte innocuo sia per le zanzare sia per l'ambiente, sebbene possa ridurre la produzione di uova degli insetti. Tuttavia i benefici potenziali per gli esseri umani sono evidenti: se le zanzare infettate con *Wolbachia* prenderanno il sopravvento in natura, ci aspettiamo un crollo dei tassi di infezione da dengue nelle persone.

IN BREVE

Gli scienziati combattono la febbre dengue con l'aiuto di *Wolbachia*, un batterio comune che impedisce al virus della dengue di replicarsi nelle zanzare che trasmettono la malattia. Senza questo batterio avremmo poche armi contro la dengue. **Sebbene *Wolbachia*** sia ospite comune fra gli insetti, non infetta *Aedes aegypti*, una specie di zanzara che è il principale vettore della dengue. I ricercatori, invece, infettano la zanzara in laboratorio con *Wolbachia* e poi liberano *A. aegypti* nell'ambiente. **L'obiettivo è ridurre** le infezioni nell'essere umano inducendo zanzare infettate con *Wolbachia* ad accoppiarsi e a trasmettere il batterio alle generazioni successive. Se il metodo funzionerà, un gran numero di zanzare selvatiche diventerà portatore di *Wolbachia* e sarà incapace di trasmettere la malattia.

Pagine precedenti: illustrazione di Bill Mayer

La zanzara *Aedes aegypti* (*qui a fianco*) è il vettore della dengue più comune a livello globale, ma la zanzara infettata con il batterio *Wolbachia* non può trasmettere il virus. Gli scienziati allevano queste zanzare in laboratorio e le liberano nell'ambiente (*in basso a destra*), dove possono sostituire le zanzare senza batterio e fermare la diffusione della dengue.

James Gathany/Getty Images (*zanzara rossa*); Christophe Simon/Getty Images (*larve, contenitori e rilascio*)

Controllare gli organismi infestanti

Le zanzare sono tra le creature più letali sulla Terra. Durante la guerra ispano-americana del 1898 la febbre gialla, anch'essa trasmessa da *A. aegypti*, ha ucciso più soldati statunitensi del fuoco nemico. La malaria, trasmessa da un parassita ospitato nelle zanzare, ha ucciso circa 627.000 persone solo nel 2012. Oggi *A. aegypti* sta rapidamente diffondendo la dengue in tutto il globo. Secondo l'Organizzazione mondiale della Sanità, circa metà della popolazione mondiale è a rischio di contrarre la malattia. La zanzara *A. aegypti*, riconoscibile per la presenza di strisce bianche sulle zampe e striature a forma di lira sul torace, può riprodursi in qualsiasi pozza di acqua stagnante, cosa che ne rende particolarmente difficile il controllo. Il suo habitat sono i paesi con clima tropicale e subtropicale di tutto il mondo: Africa, Americhe, Mediterraneo orientale, Sudest asiatico e Pacifico occidentale. La dengue, però, non è naturalmente presente in queste creature: le zanzare prendono la dengue da noi.

Il meccanismo di infezione della dengue è semplice. Le zanzare femmina pungono l'essere umano perché hanno bisogno delle proteine che si trovano nel nostro sangue per produrre uova, mentre le zanzare maschio non pungono. Se la zanzara punge qualcuno affetto da dengue – e poi, dopo i circa 8-12 giorni necessari al virus per replicarsi, punge un'altra persona – trasmette la dengue nel sangue della vittima successiva. *Wolbachia* però spezza questo processo impedendo lo svolgersi della replicazione.

Wolbachia fu identificato per la prima volta nel 1924 durante la dissezione di zanzare comuni. L'interesse per questo batterio era diminuito fino agli anni settanta, quando i ricercatori avevano notato che in certe circostanze poteva impedire la schiusa delle uova di zanzara. Questo aveva suggerito l'impiego di *Wolbachia* per tenere sotto controllo gli insetti. Negli anni novanta gli scienziati avevano scoperto che alcuni ceppi di *Wolbachia* potevano anche accorciare la vita dell'insetto, un ulteriore modo per limitare la trasmissione della malattia da parte degli insetti.

Ho conosciuto *Wolbachia* quando ero studente di dottorato, a metà degli anni ottanta. All'epoca mi chiedevo se avremmo potuto usare questo batterio per impedire alle zanzare di trasmettere malattie umane. Se fossimo riusciti ad accorciare la durata della vita delle zanzare anche solo di poco, avremmo potuto ridurre la capacità degli insetti di diffondere la malattia fra gli esseri umani.

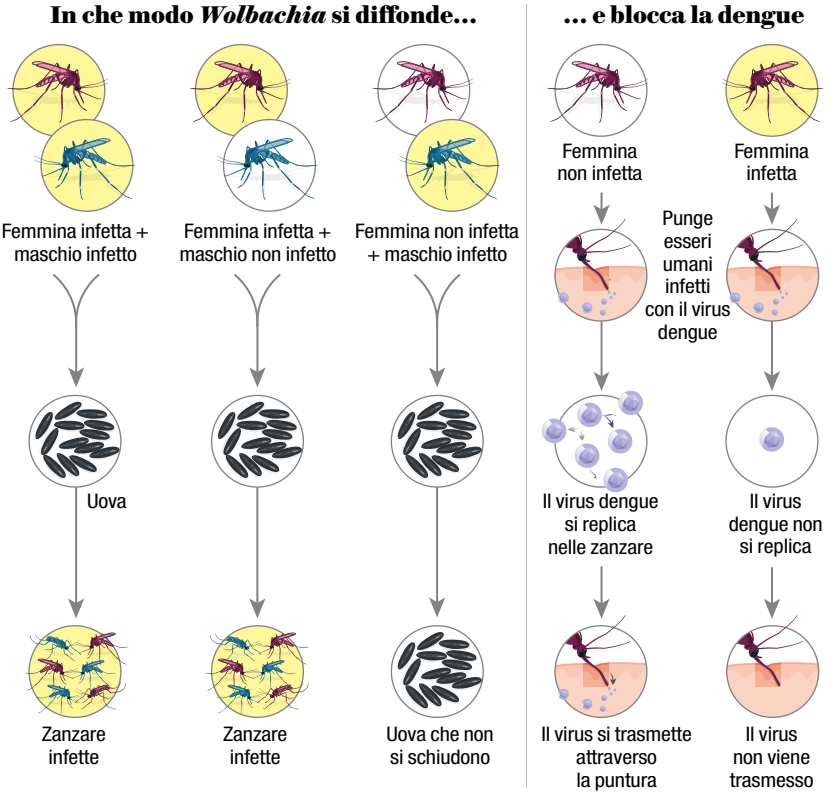
La sfida, naturalmente, riguardava la mancanza di affinità di *Wolbachia* per *A. aegypti*. Il batterio è comune nel 60 per cento delle specie di insetti, incluse alcune specie di zanzara che pungono l'essere umano, ma l'infezione non si trasmette facilmente tra specie diverse. La sfida era trovare il modo di trasferire ceppi diversi di *Wolbachia* dal moscerino della frutta alla zanzara che ospita la dengue. È stato un processo tedioso che ha richiesto più di dieci anni di lavoro.

Come si infettano le zanzare

Immaginate di prendere un ferro da calza e di affondarlo in un palloncino. Il secondo passo è rimuovere il ferro da calza senza far scoppiare il pallone. Questa descrizione riassume abbastanza bene il processo usato per infettare le uova di zanzara con *Wolbachia*. In laboratorio, il mio gruppo usa aghi microscopici per prendere il microbo dal moscerino della frutta e iniettarlo direttamente in giovani uova di zanzara. All'inizio, come accade ai palloncini forati con aghi da maglia, le uova scoppiavano. Abbiamo provato con migliaia di uova prima di avere successo.

I segreti del successo di *Wolbachia*

Non c'è un vaccino contro la dengue, ma infettare zanzare con un batterio che si trova in natura chiamato *Wolbachia* blocca la capacità degli insetti di trasmettere la malattia agli esseri umani. Il microbo si diffonde nelle zanzare femmine e nei maschi: le femmine infette depongono uova che ospitano il batterio, e quando femmine senza *Wolbachia* si accoppiano con maschi infetti le loro uova semplicemente non si schiudono. Attualmente i ricercatori liberano femmine infette con *Wolbachia* in Australia, Vietnam, Indonesia e Brasile.



Dopo essere riusciti a infettare uova di zanzara senza distruggerle, abbiamo dovuto risolvere altri problemi. *Wolbachia* spesso scompariva dopo una o due generazioni di zanzare allevate. Questo risultato implicava che il batterio non sarebbe stato in grado di diffondersi in natura nel modo in cui volevamo. Alla fine abbiamo scoperto che dovevamo condizionare i microbi prima di iniettarli nelle zanzare, per far sì che questi batteri, abituati a vivere nel moscerino della frutta, si abituassero al loro nuovo insetto ospite. A questo scopo abbiamo estratto *Wolbachia* dal moscerino della frutta e lo abbiamo fatto crescere in linee cellulari di zanzara. E poi finalmente nel 2005 abbiamo centrato il bersaglio: abbiamo infettato le zanzare con *Wolbachia* e abbiamo osservato che trasmettevano il batterio da una generazione alla successiva, per un totale di 13 generazioni. Da allora il batterio *Wolbachia* è cresciuto in tutte le generazioni successive. Come ci aspettavamo, almeno un ceppo di *Wolbachia* accorcia la vita di *A. aegypti*.

Abbiamo scoperto che *Wolbachia* è addirittura più efficace nel combattere la dengue rispetto a quanto pensassimo. Per ragioni che non capiamo ancora fino in fondo, il virus della dengue ha problemi a crescere in zanzare infettate da *Wolbachia*. Lo abbiamo capito qualche anno dopo aver trasferito con successo *Wolbachia* in *A. aegypti*, quando una serie di ricerche separate a cui avevo preso parte ha rivelato che nel moscerino della frutta il batterio blocca anche la replicazione del virus *Drosophila C*, che è mortale per le zanzare. Il mio gruppo di ricerca ha iniettato la dengue direttamente nelle nostre zanzare *Wolbachia* e, con nostro grande piacere, la dengue ha smesso di replicarsi in quegli insetti. Abbiamo replicato l'esperimento numerose volte, ciascuna con dozzine di esemplari di zanzara, e abbiamo scoperto che i nostri risultati erano coerenti.

In questo periodo usiamo un ceppo di *Wolbachia* che blocca la trasmissione della dengue ma non ha alcun effetto sulla durata della vita della zanzare. Dopo tutto vogliamo che le nostre zanzare vivano il più a lungo possibile e che depongano il maggior numero possibile di uova infettate con *Wolbachia*. Fin da quando ero un neolaureato sappiamo che le femmine di zanzara infettate con *Wolbachia* trasmettono il batterio a quasi tutta la progenie. Bastano solo poche generazioni dopo l'introduzione di *Wolbachia* per far sì che quasi ogni esemplare in una popolazione sia portatore del batterio.

Uno dei nostri esperimenti nel nord dell'Australia ha dimostrato che dopo aver liberato circa dieci zanzare per abitazione in un arco di tempo di dieci settimane più dell'80 per cento delle zanzare selvatiche di quell'area ospitava *Wolbachia*, e che ne erano ancora infette quando le abbiamo testate due mesi dopo aver interrotto il rilascio delle zanzare. Poiché *Wolbachia* è trasmessa con grande efficienza di generazione in generazione, non avremmo dovuto ripetere la procedura del rilascio: *Wolbachia* si sarebbe trasmessa in modo autonomo.

In natura

Prima di poter liberare zanzare con *Wolbachia* in natura abbiamo dovuto affrontare le preoccupazioni delle comunità coinvolte. Abbiamo trascorso mesi bussando di porta in porta per chiedere il permesso di liberare zanzare vicino alle abitazioni. Abbiamo organizzato incontri informativi, ma anche chiacchierate improvvisate all'esterno dei centri commerciali. Anche gli ufficiali federali australiani hanno verificato la sicurezza del nostro metodo prima di approvare il rilascio delle zanzare infette.

Per l'essere umano, *Wolbachia* non costituisce una minaccia evidente. Nel corso dei nostri esperimenti di laboratorio abbiamo scoperto che il batterio non può essere trasferito all'essere umano perché è troppo grande per viaggiare lungo il dotto salivare della zanzara e arrivare fino al nostro flusso sanguigno. Abbiamo anche effettuato test di sicurezza per cercare anticorpi in volontari umani, ma dopo tre anni in cui abbiamo permesso alle zanzare

Illustrazioni di Lucy Reading-Ikkanda

di pungere i volontari queste persone ancora non mostrano alcun segno del microrganismo. Il personale del mio laboratorio e i volontari si sono spesso scoperti le braccia e hanno trascorso 15 minuti nelle gabbie delle zanzare, permettendo a quegli insetti di fare un pasto completo.

Allo stesso modo, non c'è alcun segno del fatto che *Wolbachia* possa danneggiare l'ambiente. Da quando abbiamo iniziato a liberare le zanzare con *Wolbachia*, nel 2011, studiamo animali e insetti che incontrano, e il nostro lavoro ha ribadito che il batterio si trova solo nelle cellule degli insetti e di altri artropodi. Inoltre riteniamo che *Wolbachia* non riuscirebbe a sopravvivere neanche se riuscisse a trovare una via per raggiungere il flusso sanguigno dell'essere umano o di altri mammiferi. In effetti, *Wolbachia* è stata già trovata in molte altre specie di zanzara, incluso un certo numero che punge regolarmente l'essere umano. Test su ragni e gechi che hanno mangiato zanzare con *Wolbachia* non hanno rilevato effetti avversi dovuti all'esposizione e nemmeno tracce del batterio nei tessuti di questi animali.

Prima di operare il nostro primo rilascio di zanzare con *Wolbachia*, nel 2011, abbiamo commissionato uno studio indipendente di valutazione del rischio alla Commonwealth Scientific and Industrial Research Organization (CSIRO), l'agenzia scientifica nazionale australiana. Gruppi di esperti hanno identificato ed esaminato potenziali rischi associati con la liberazione di zanzare con *Wolbachia*, che andavano da un possibile impatto ecologico a effetti sulle comunità. La CSIRO ha esaminato studi già esistenti e intervistato esperti di biologia evolutiva. Sono stati analizzati scenari importanti: cambiamenti nella distribuzione delle zanzare, possibilità che il virus dengue si evolva, fastidio dovuto dal maggior numero di zanzare che pungono e addirittura cambiamenti nella percezione dei rischi associati alla dengue da parte delle comunità locali. Tuttavia il rapporto finale della CSIRO ha concluso che la liberazione di zanzare con *Wolbachia* comporta un rischio trascurabile per popolazione e ambiente, al minor livello possibile.

Il personale del mio laboratorio e i volontari si sono spesso scoperti le braccia e hanno trascorso 15 minuti nelle gabbie delle zanzare, permettendo a questi insetti di fare un pasto completo

Wolbachia diventa globale

Oltre ai trial sul campo che effettuiamo da ormai quattro anni in Australia, sono in corso trial anche in Vietnam e Indonesia. Lo scorso settembre abbiamo iniziato a liberare zanzare anche in Brasile. Abbiamo scoperto che *Wolbachia* può stabilirsi in popolazioni di zanzare selvatiche all'interno di piccole comunità. Ora cerchiamo di fare lo stesso su aree maggiori. Incrementare la portata delle nostre operazioni potrebbe richiedere aggiustamenti nei metodi. Allevare un numero sufficiente di zanzare adulte con *Wolbachia*, per esempio, potrebbe risultare troppo dispendioso in termini di lavoro. A Cairns invece testiamo l'efficacia dell'inserimento di uova di zanzara con *Wolbachia* nell'ambiente.

Nel frattempo altri ricercatori stanno sviluppando approcci alternativi per il controllo di questi insetti. Uno prevede di liberare zanzare di sesso maschile geneticamente modificate in modo che le loro cellule spermatiche trasportino un gene letale. Quando queste zanzare si accoppiano con femmine selvatiche, la loro progenie muore. Questo approccio è innovativo e potenzialmente potente, ma potrebbe anche avere un prezzo da pagare. Per ottenere un'efficacia su larga scala potrebbe essere necessario liberare un flusso continuo di zanzare modificate nell'ambiente, altrimenti zanzare non modificate di aree vicine si sposterebbero nell'area e ricostituirebbero la popolazione. L'uso di zanzare transgeniche deve fare anche i conti con la massiccia opposizione dei detrattori dell'ingegneria genetica.

Per contro, i costi del controllo della dengue con *Wolbachia* sono concentrati all'inizio: dopo il primo investimento in zanzare infettate dal batterio, il processo si autosostiene. Potrebbe essere un modo relativamente economico per affrontare la dengue, un'opportunità importante nei paesi tropicali poveri, dove la malattia ha la prevalenza più alta. Un altro beneficio del nostro approccio è che non coinvolge alcuna modificazione genetica, sebbene ci siano voluti anni per decollare a causa del lavoro necessario per garantirne la sicurezza delle comunità.

Abbiamo ancora un significativo ostacolo da affrontare: misurare la riduzione della dengue quando introduciamo *Wolbachia* nelle comunità. Questo passo è difficile per diverse ragioni. Nelle regioni in cui lavoriamo i dati affidabili sui casi di dengue sono in gran parte assenti, e i tassi di infezione possono variare ampiamente di anno in anno. Per stabilire con certezza l'efficacia del nostro metodo dovremo effettuare un confronto tra i tassi di dengue in regioni in cui abbiamo liberato zanzare con *Wolbachia* e quelli delle regioni dove non lo abbiamo fatto. Un simile intervento richiederebbe il prelievo di un gran numero di campioni di sangue, cosa che può essere laboriosa.

Eppure riteniamo che varrà la pena fare questo lavoro, e non solo per combattere la dengue. Queste zanzare – o piuttosto i microbi nel loro interno – si stanno rivelando promettenti anche nei confronti di altre malattie. Abbiamo prove del fatto che *Wolbachia* può ridurre la capacità delle zanzare di trasmettere chikungunya, che ha fatto la sua comparsa per la prima volta negli Stati Uniti continentali a luglio dello scorso anno, e la febbre gialla. I ricercatori cercano anche di usare zanzare infettate con *Wolbachia* per rallentare la trasmissione della malaria e della filariasi linfatica, una malattia che causa una drammatica deturpazione fisica ed è trasmessa da vermi.

Le nuove osservazioni sono stimolanti. Tuttavia per ora continueremo a concentrarci sulla valutazione del metodo applicato alla febbre dengue. È per questa malattia che abbiamo iniziato le nostre ricerche, ed è per questa malattia che siamo più vicini a vedere un impatto sul mondo che ci circonda. Un giorno, speriamo, una puntura di zanzara non lascerà conseguenze più serie di un piccolo bozzo sulla pelle. ■

PER APPROFONDIRE

Dietary Cholesterol Modulates Pathogen Blocking by *Wolbachia*. Caragata E.P., in «PLoS Pathogens», Vol. 9, n. 6,articolo n. e1003459, 27 giugno 2013. **http://journals.plos.org/plospathogens/article?id=10.1371/journal.ppat.1003459.**

Limited Dengue Virus Replication in Field-Collected *Aedes aegypti* Mosquitoes Infected with *Wolbachia*. Frentiu F. D. e altri, in «PLoS Neglected Tropical Diseases», Vol. 8, n. 2, articolo n. e2688, 20 febbraio 2014. **http://journals.plos.org/plosntds/article?id=10.1371/journal.pntd.0002688.**

Modeling the Impact on Virus Transmission of *Wolbachia*-Mediated Blocking of Dengue Virus Infection of *Aedes aegypti*. Ferguson N.M. e altri, in «Science Translational Medicine», Vol. 7, articolo n. 279ra37, 18 marzo 2015.

Il gene dell'autodistruzione. Trivedi B.P., in «Le Scienze», n. 521, gennaio 2012.

Ricci, geni ed

Una storia (non solo) napoletana

Primo piano. *Paracentrotus lividus*, una specie di riccio usata negli studi che scoprirono il meccanismo epigenetico della metilazione.

epigenetica

Cinquant'anni fa l'italiano Eduardo Scarano osservò, tra i primi al mondo, un meccanismo epigenetico, ma i tempi non erano maturi per capire il significato del fenomeno

di Rossella Costa e Mauro Capocci

Angel Fitor/SPL/Contrasto

Rossella Costa è post-doc presso il Dipartimento di scienze e biotecnologie medico-chirurgiche della «Sapienza» Università di Roma. Si occupa di storia della medicina contemporanea con particolare interesse per la storia della genetica medica, dell'epigenetica e della terapia genica.

Mauro Capocci è ricercatore nell'Unità di storia della medicina della «Sapienza» Università di Roma e si occupa soprattutto di storia delle scienze biomediche in Italia nel XX secolo. Per «Le Scienze» ha già pubblicato due articoli: *La guerra fredda della penicillina* (aprile 2014) e *La rivoluzione mancata della biologia italiana* (novembre 2003).

Oggi «epigenetica» è una delle parole chiave delle scienze della vita. Senza andare per il sottile, comprende le modificazioni dell'espressione dei geni che possono essere ereditate dalla generazione successiva. Praticamente, alcuni fenomeni chimico-biologici fattori ambientali nel corso della vita di un individuo – per esempio l'esposizione ad alcuni composti – possono indurre cambiamenti anche nella progenie.

Tradizionalmente, Conrad Hal Waddington è considerato il fondatore di questa disciplina: embriologo e genetista britannico, coniò il termine nel 1942. Il 2015 marca però un anniversario importante per lo sviluppo di questo filone di ricerca ormai consolidato: la scoperta della metilazione, cioè del principale meccanismo del cambiamento epigenetico negli eucarioti, organismi in cui la maggior parte del DNA cellulare è confinata dentro un nucleo ben definito. Questo meccanismo consiste nel trasferimento di gruppi metile, formati da un atomo di carbonio e tre di idrogeno (CH_3), alla citosina, una delle quattro basi del DNA. E fu osservato per la prima volta nel riccio di mare nel 1965 da un ricercatore italiano in un laboratorio napoletano, Eduardo Scarano.

Lungi dall'essere un richiamo patriottico all'italico ingegno, la notazione geografica è invece un modo per rivivere un periodo importante del nostro paese: un'occasione persa di modernizzazione sotto molti aspetti, ma che ha lasciato comunque un'importante eredità nella scienza. La carriera di Scarano è un modello di quello che potrebbe essere – o dovrebbe – la traiettoria di un ricercatore di talento: formato in Italia, specializzato all'estero, e poi rientrato nel paese d'origine, mettendo a frutto l'investimento fatto dal sistema di istruzione e ricerca. Un'ulteriore caratteristica interessante della storia di Scarano è costituita dalla città d'origine, Napoli, dove era nato nel 1924: la più grande città del Mezzogiorno che – con rare eccezioni – era alla periferia della ricerca italiana, in un paese periferico nel contesto internazionale. L'eccezione più importante era la Stazione zoologica «Anton Dohrn», fondata nel 1872, dove Scarano lavorò dopo la laurea in medicina ottenuta nel 1948 all'istituto di fisiologia sperimentale dell'Università di Napoli diretto da Gino Bergami, importante figura istituzionale nella sanità pubblica italiana.

La Stazione zoologica era uno dei centri italiani dove il nuovo approccio molecolare alle scienze della vita trovò spazio fin dagli anni cinquanta. Scarano poté sviluppare qui la sua ricerca sugli enzimi, che non si limitava agli aspetti chimici, ma contestualizzando le reazioni osservate nella fisiologia degli organismi. Da Napoli si spostò prima in Danimarca e poi negli Stati Uniti. All'Università di Copenhagen, dal 1951 al 1953, collaborò con il biochimico danese Herman Moritz Kalckar nell'Istituto di citofisiologia, mentre fu un ebreo emigrato italiano, il biochimico Giulio Cantoni, ad accoglierlo alla Western Reserve University in Ohio.

A Copenhagen, Scarano entrò in contatto con un ambiente internazionale che gli permise di approfondire gli studi già intrapresi a Napoli sul metabolismo dei nucleotidi che compongono il DNA, il cui ruolo come «molecola dell'eredità» era stato dimostrato nel 1944. A Copenhagen compie la sua prima importante scoperta: con il biochimico canadese Murray Saffran identifica nel 1953 la reazione enzimatica responsabile della formazione di uno dei mattoni fondamentali della doppia elica, l'adenosina monofosfato, a partire dall'adenina, la A del codice genetico: «Ho scoperto una nuova attività enzimatica e purificato l'enzima relativo

IN BREVE

Oggi l'epigenetica è un settore consolidato, il cui fondatore è considerato il britannico Conrad Hal Waddington. Ma il primo a osservare il principale meccanismo epigenetico, la metilazione, fu l'italiano Eduardo Scarano, che nel 1965 pubblicò un articolo sulla metilazione nel riccio di mare.

La scoperta avvenne al Laboratorio internazionale di genetica e biofisica di Napoli, che per qualche anno fu un fiore all'occhiello per la biologia molecolare italiana.

Quella pubblicazione però rimase poco conosciuta per una decina d'anni: mancavano le tecnologie necessarie per capire appieno il significato della scoperta. Scarano si dedicò ad altro, e il suo ruolo pionieristico venne disperso.

Vita da ricercatore. Sotto, Scarano e famiglia; accanto, lo scienziato (*terzo da destra*) nel laboratorio di Herman Kalckar, alla lavagna, a Copenaghen all'inizio degli anni cinquanta.

Cortesia Federico Scarano (*tutte le foto in questa pagina, 2*)

DAL LIGB ALL'IGB

Storia di un laboratorio

Nel 1962 a Napoli aprì i battenti il Laboratorio internazionale di genetica e biofisica (LIGB), fondato e diretto da Adriano Buzzati Traverso (fratello dello scrittore Dino), che intendeva creare un centro dove venisse sviluppato il nuovo approccio molecolare alle scienze della vita. Internazionale non solo nel nome, ma anche nelle pratiche, con molti ospiti stranieri, corsi di formazione per studenti di tutto il mondo, stipendi (quasi) in linea con quelli all'estero. Nato con un generoso finanziamento quinquennale di EURATOM e CNR, il LIGB tentò da subito di sviluppare ricerche fuori dagli schemi disciplinari dell'università, e nei primi anni di vita diventò un punto di riferimento mondiale per la ricerca, rivaleggiando con gli istituti anglosassoni a cui era ispirato.

Nel 1969, amministrativi, tecnici e un piccolo gruppo di ricercatori occuparono il laboratorio per ottenere diverse condizioni di lavoro e protestare contro il filoamericanismo di Buzzati Traverso, incarnato nello studio molecolare della vita, che rendeva la scienza una colonia della superpotenza occidentale. Dalla crisi, culminata con dimissioni del direttore, dispersione dei ricercatori e lungo commissariamento, ci sono voluti molti anni perché il LIGB (divenuto nel frattempo istituto, IGB) tornasse a livelli di ricerca adeguati. Nel 2001 la vecchia sede (le «baracche» provvisorie del 1962) è stata distrutta da un'alluvione, e l'istituto è stato spostato in una sede più moderna. Attualmente diretto da Antonio Simeone, l'IGB continua a fare ricerca biomedica d'avanguardia, grazie a finanziamenti e collaborazioni nazionali e internazionali.

(non parlare con nessuno perché voglio prima il lavoro pubblicato)... Non posso dirti come sia felice», scrive alla madre prima della pubblicazione su «Nature». La lettera è riportata nel libro *Eduardo Scarano. Uno scienziato antesignano della epigenetica*, pubblicato nel 2014 dal figlio Federico insieme a Giovanni Chieffi. Siamo a pochi mesi dalla pubblicazione sulla stessa rivista – ad aprile, mentre l'articolo di Scarano e Saffran risale a novembre – della celebre doppia elica di James Watson e Francis Crick: due filamenti di DNA avvolti lungo lo stesso asse secondo una modello a doppia elica e caratterizzati dall'appaiamento di purine e pirimidine, cioè le quattro lettere che costituiscono il codice genetico (A, C, G, T), associate a gruppi fosfato e a molecole di zucchero.

Rientrato dagli Stati Uniti alla fine del 1954, dopo un periodo come assistente universitario di fisiologia generale a Napoli – pur continuando a fare ricerca alla Stazione zoologica «Anton Dohrn» – nel 1962 partecipa a una delle più importanti imprese della scienza italiana nel secondo dopoguerra: Adriano Buzzati-Traverso lo coinvolge nella creazione del Laboratorio internazionale di genetica e biofisica (LIGB), finanziato da Euratom e dal Consiglio nazionale delle ricerche (CNR).

Fino alla fine del decennio, il LIGB sarà un nodo fondamentale nel *network* internazionale di biologia molecolare, e Scarano aiuterà ad aumentare il prestigio della nuova realtà scientifica.

Oltre l'operone

I notevoli finanziamenti (anche internazionali) permisero a Scarano di allargare il suo gruppo di ricerca, di cui facevano parte tra gli altri Maurizio Iaccarino, Elio Parisi, Pasquale Grippo e Benita de Petrocellis. I tanti ospiti stranieri del LIGB contribuivano a creare un ambiente fertile.

Il lavoro di Scarano sulla metilazione risale proprio all'inizio della sua permanenza al LIGB: nel 1963 prese parte a un meeting a Cold Spring Harbor sulla sintesi e la struttura delle macromolecole. In questo simposio Scarano ritrovò il suo ospite dell'Ohio: Cantoni. Già negli anni cinquanta quest'ultimo si era interessato al meccanismo biochimico della metilazione, e nel 1952 aveva isolato l'S-adenosilmetionina (SAMe), la fonte dei gruppi metile, descrivendo la reazione enzimatica che porta alla sua formazione. A catturare l'attenzione di Scarano furono però i lavori di Ernst Borek e Marvin Gold sulla metilazione degli acidi nucleici nei batteri.

Nel 1962 Borek, che si trovava alla Columbia University a New York, aveva identificato un enzima specifico, la RNA metilasi, responsabile della metilazione dell'acido nucleico suggerendo che la SAMe identificata da Cantoni fosse un agente attivo della metilazione. I lavori di Gold, allora alla New York University School of Medicine, indicavano invece che i nucleotidi metilati non vengono incorporati in modo causale nei due acidi nucleici, e che la reazione di metilazione è specie-specifica. In via del tutto ipotetica, Borek aveva inoltre proposto che la metilazione potesse avere un'influenza sulla struttura dell'RNA.

L'idea che la metilazione potesse essere legata all'espressione genica probabilmente già circolava a Cold Spring Harbour, e Scarano tornò a Napoli elettrizzato dall'idea che i gruppi metile potessero avere un importante ruolo nel differenziamento cellulare e con effetti sulla specificazione dell'informazione genica. In un'intervista che abbiamo fatto pochi mesi fa, il suo allievo (e più

tardi collega) Maurizio Iaccarino ha ricordato come Scarano intendesse andare oltre il modello introdotto dai francesi François Jacob e Jacques Monod, che descriveva un'unità funzionale, chiamata operone, costituita da diversi elementi che regolano l'attività di altri geni. Forse, secondo Scarano, era possibile regolare più geni contemporaneamente, e i metili potevano essere una sorta di «punteggiatura» del DNA.

In anticipo sui tempi

La struttura ripetitiva del DNA e gli esperimenti del britannico John Gurdon, all'epoca all'Università di Oxford, che avevano dimostrato la perdita progressiva di potenzialità delle cellule embrionali nella rana *Xenopus laevis* (con cui Gurdon realizzò la clonazione da cellule adulte 35 anni prima della pecora Dolly e per cui ha ricevuto il premio Nobel nel 2012), indicavano l'esistenza di una relazione tra sviluppo ed espressione del DNA. Gli esperimenti di Gurdon furono tra l'altro parte integrante del corso di embriologia ed epigenetica tenutosi al LIGB e diretto da Waddington nel 1964. Scarano ipotizzò quindi che nel corso dello sviluppo l'espressione di blocchi di geni potesse essere attivata e disattivata: si mise a esplorare questa possibilità, nonostante i tempi non fossero maturi per confermarla, né tanto meno per poter accertare il ruolo della metilazione nella regolazione dell'espressione genica.

Gli esperimenti erano effettuati in parte alla Stazione zoologica, dove era valutata la presenza della metilazione nei ricci di mare. Al LIGB si effettuavano invece le operazioni biochimiche più complesse per separare e osservare il DNA: operazioni squisitamente chimiche all'epoca, che valorizzavano al massimo l'esperienza nel campo di tutto il gruppo di Scarano. Grippo e Parisi erano infatti laureati in chimica, e Iaccarino, sebbene laureato in medicina, era un biochimico formatosi con Vincenzo Scardi (altro allievo di Bergami). Anche dal punto di vista tecnologico il gruppo raggiunse risultati importanti, mettendo a punto una tecnica di cromatografia su strato sottile che ebbe una larga diffusione.

Il riccio di mare (*Paracentrotus lividus*, quello commestibile) era un'altra peculiarità di Scarano. Nessun altro lo usava come organismo modello per lo studio della metilazione. Ma era ideale per lo studio embriologico, perché è semplice e le fasi dello sviluppo embrionale sono piuttosto rapide e facili da osservare. Ha cinque losanghe che contengono uova o spermatozoi, a seconda del sesso.

La procedura era facile: si aprivano i ricci e si preparavano due sospensioni separate di gonadi, femminili e maschili; si aggiungeva una goccia di spermatozoi all'uovo, che iniziava a dividersi (circa una volta ogni 20 minuti), e nelle diverse fasi si procedeva a isolare il DNA e a compiere gli esperimenti, così da osservare se durante lo sviluppo fosse avvenuta la metilazione dell'acido nucleico. Per farlo, si incubavano gli embrioni con la metionina radioattiva, fonte dei gruppi metile che si associano al DNA. La marcatura radioattiva, un metodo molto usato all'epoca per studiare i processi biologici, permetteva di seguire nel dettaglio il metabolismo dei composti che formavano gli acidi nucleici, così che la misurazione della radioattività del DNA isolato durante lo sviluppo avrebbe dato informazioni sull'andamento della metilazione.

I risultati confermarono le ipotesi di Scarano. Non solo la metilazione avveniva, ma variava a seconda delle fasi di sviluppo. Nel 1965 il lavoro pubblicato sul «Journal of Molecular Biology», riportava il risultato chiave: per la prima volta la metilazione del DNA era dimostrata chiaramente nelle cellule degli eucarioti. Tre anni dopo, grazie a metodologie innovative di elettroforesi e spettrometria di massa, Scarano e il suo gruppo dimostrarono anche che la metilazione avviene su specifiche citosine, e che la distribuzione della citosina metilata non è casuale, ma si presenta prevalentemente in gruppi di dinucleotidi citosina-guanina, oggi noti come «CpG island» (citosina-fosfato-guanina). Però non fu possibile chiarire la funzione biologica della metilazione: con i mezzi dell'epoca non era possibile andare oltre. Per quanto l'ipotesi di Scarano fosse corretta – la metilazione come meccanismo di regolazione dell'espressione dei geni – non erano disponibili metodi per convalidarla. Questo limite potrebbe anche spiegare perché l'articolo del 1965 sia relativamente poco citato. Con ogni probabilità, l'assenza di un genetista nel gruppo di Scarano impedì di interpretare epigeneticamente il fenomeno della metilazione.

Nel 1971 Scarano ipotizzò che i gruppi CpG metilati fossero modificati selettivamente mediante una presunta attività enzimatica altamente specifica durante l'embriogenesi e il differenziamento cellulare, così che gruppi di geni fossero più inclini a essere trascritti rispetto ad altri. Le sue idee non passarono comunque inosservate. Nel 1971 Crick scrisse a Scarano (la lettera è conservata nell'archivio della Stazione zoologica) che sperava di rivedere i suoi lavori sperimentali sulla metilazione alla luce delle ricerche che stava sviluppando sulla struttura dei cromosomi. Nel 1975 Robin Holliday e il suo allievo John Pugh, entrambi del National Institute for Medical Research di Londra, approfondiranno l'ipotesi di Scarano su «alcune altre modificazioni di basi [...] che potrebbero portare a cambiamenti ereditabili nella sequenza delle basi e [...] potrebbero controllare le attività dei geni strutturali adiacenti». Holliday e Pugh, e indipendentemente Arthur Riggs, del City

SCIENZA MAINSTREAM

L'epigenetica oggi

Le differenze fenotipiche delle cellule e degli interi organismi, cioè l'espressione delle diverse caratteristiche genetiche e il risultato dell'interazione tra geni e ambiente, hanno richiamato l'attenzione di tanti scienziati già alla metà del secolo scorso. La risposta è stata trovata decenni dopo nell'epigenetica: l'insieme dei cambiamenti dell'espressione genica che riguardano il genoma. Per questo è più corretto definirla epigenomica. Un editoriale di «Nature» dello scorso inverno ha descritto l'epigenoma come la «sinfonia delle nostre cellule», che fornisce indicazioni su tempi e modalità dell'espressione delle informazioni genetiche durante lo sviluppo e la vita. I cambiamenti epigenetici riguardano l'espressione ma non la sequenza dei geni e sono determinati da tanti meccanismi e complessi proteici: metilazione, modificazione degli istoni (proteine associate alla cromatina), RNA non codificanti.

Oggi molta enfasi è posta sulla loro eredità e reversibilità, osservate in particolare per la metilazione, perché sono potenziali obiettivi terapeutici. Numerosi studi indicano una relazione tra cambiamenti epigenetici e malattie. È stato suggerito che ci siano agenti o eventi induttori che attivano alcune modifiche epigenetiche e determinano cambiamenti strutturali della cromatina. Questo causa l'accensione o lo spegnimento di alcune regioni genomiche che diventano più o meno accessibili a proteine di trascrizione. Queste modifiche permettono di regolare l'espressione genica delle cellule e, dunque, alcuni processi biologici, nonostante l'uguale patrimonio genetico. Studi recenti, come quelli dell'ENCODE Project Consortium o dell'Epigenome Roadmap Project guidato dagli statunitensi National Institutes of Health, vogliono fornire la più ampia mappa possibile di elementi regolatori del genoma o dei cambiamenti epigenomici nei diversi tipi cellulari in differenti tessuti.

In azione. Illustrazione di un complesso tra DNA (*doppia elica in rosso e in verde*), e un enzima chiamato metiltransferasi. Questo enzima aggiunge gruppi metile al DNA, ovvero effettua la metilazione, un meccanismo epigenetico.

Laguna Design/SPL/Contrasto

of Hope Medical Center in California, suggerirono un modello secondo cui la metilazione delle citosine avviene grazie allo specifico intervento di alcuni enzimi che mantengono i gruppi metile su entrambi i filamenti del DNA, rendendone quindi possibile l'ereditià della modificazione anche dopo la duplicazione dell'acido nucleico. La vita epigenetica della metilazione era cominciata.

Il paradigma di una traiettoria

La carriera di Scarano andava invece incontro a profondi cambiamenti. Alla fine del 1967 aveva preso servizio come professore ordinario di biologia molecolare, primo cattedratico italiano in questo settore disciplinare, all'Università di Palermo. Questo implicò la riduzione dell'impegno di Scarano dedicato alla ricerca, dei finanziamenti e dei collaboratori. Molti suoi allievi, inoltre, erano cresciuti ed erano andati altrove. Nel 1969 l'occupazione del LIGB da parte di tecnici, amministrativi e un piccolo gruppo di ricercatori (*si veda il box a p. 73*), segnò l'inizio di una crisi di lungo periodo del centro di ricerca, con l'abbandono di Buzzati-Traverso e la «normalizzazione» dell'istituto, progressivamente isolato a livello internazionale e impoverito finanziariamente. Il gruppo di Scarano si sfaldò, e non si ricostituì neanche quando lasciò Palermo per creare insieme ad Alberto Monroy, che l'aveva voluto a Palermo, il Laboratorio di embriologia molecolare del CNR, distaccatosi dal LIGB ad Arco Felice, vicino Napoli.

Nel 1977 successe alla direzione dell'istituto a Monroy, quando quest'ultimo divenne direttore della Stazione zoologica. Dal 1970 aveva anche cambiato ateneo, ottenendo la cattedra a Napoli, prima alla «Federico II» e poi alla Seconda Università. La sua produttività scientifica calò significativamente, come evidenziano le rare pubblicazioni (in cui comunque figurano i nomi di biochimici di valore, tra cui il suo allievo e collaboratore Mosè Rossi) a partire dalla metà degli anni settanta fino alla scomparsa nel 1986.

In una lettera del 1965, conservata nell'archivio della Stazione zoologica, il Nobel Jacques Monod definisce Scarano un «uccello raro», capace di applicare i principi biochimici alle questioni embriologiche e fisiologiche. Un ruolo pionieristico, quello di Scarano, che ben rappresenta la traiettoria della ricerca biologica italiana: capace di uno sforzo enorme negli anni cinquanta e sessanta per modernizzarsi concettualmente e istituzionalmente, e agganciarsi ai network internazionali ottenendo risultati straordinari. Ma poco abile, spesso per incapacità politica e della politica, nel rendere duraturi e concreti i progressi ottenuti. ■

PER APPROFONDIRE

On Methylation of DNA During Development of the Sea Urchin Embryo. Scarano E., Iaccarino M., Grippo P. e Winckelmans D., in «Journal of Molecular Biology», Vol. 14, n. 2, pp. 603-607, 1° dicembre 1965.

Methylation of DNA in Developing Sea Urchin Embryos. Grippo P., Iaccarino M., Parisi E. e Scarano E., in «Journal of Molecular Biology», Vol. 36, n. 2, pp. 195-208, 14 settembre 1968.

Eduardo Scarano. Uno scienziato antesignano della epigenetica. Chieffi G. e Scarano F. (*a cura*), Editoriale Scientifica, Napoli, 2014.

Crossovers Between Epigenesis and Epigenetics. A Multicenter Approach to the History of Epigenetics (1901-1975). Costa R. e Frezza G., in «Medicina nei secoli», Vol. 26, n. 3, pp. 905-942, 2014.

Steven D. Miller è *senior researcher* presso il Cooperative Institute for Research in the Atmosphere della Colorado State University. La maggior parte delle immagini di questo articolo sono opera sua.

OSSERVAZIONE DELLA TERRA

Una spia nella notte

Un sensore satellitare in grado di vedere nell'oscurità rivela nuove informazioni utili a meteorologi, vigili del fuoco, squadre di soccorso e a un'infinità di ricercatori

di Steven D. Miller

IN BREVE

Il nuovo sensore satellitare Day Night Band è in grado di rilevare luci terrestri molto più deboli di quelle individuate dagli strumenti precedenti.
Lo strumento può anche individuare nubi, neve e altri dettagli che in una notte senza Luna rimangono nascosti, illuminati soltanto dalla luminescenza atmosferica.
I dati raccolti dai sensori stanno aiutando i ricercatori a identificare fenomeni quasi invisibili di notte, come gli uragani, il fumo degli incendi e le navi perdute in mare.
Dotare di questo tipo di sensori i satelliti geostazionari fornirebbe filmati delle luci terrestri per 24 ore su 24 anziché semplici istantanee scattate un paio di volte al giorno.

Marmo nero. Gli analisti dei dati satellitari hanno unito fra loro le immagini raccolte in due mesi dal Day Night Band del satellite Suomi-NPP per costruire una visione unica della Terra di notte.

A nessuno piace «brancolare nel buio», soprattutto nei momenti di pericolo. Eppure, quando su un continente o su un oceano calano le tenebre di colpo scienziati e meteorologi perdono le importanti immagini satellitari in luce visibile che permettono di seguire il volo degli uccelli, individuare il fumo degli incendi, identificare i blocchi di ghiaccio che minacciano le navi e molto altro.

Un nuovo sensore chiamato Day Night Band sta iniziando a colmare questa lacuna. Lo strumento fa parte del sistema Visibile Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) del satellite Suomi-NPP, ed è abbastanza sensibile da misurare il riverbero di un solo lampione, la luce sul ponte di una nave isolata in mezzo a un nerissimo oceano o i lampi intermittenti di gas nelle aree petrolifere del North Dakota. Può distinguere le nuvole e i manti nevosi illuminati dal fioco riverbero dell'atmosfera notturna persino in una notte senza Luna.

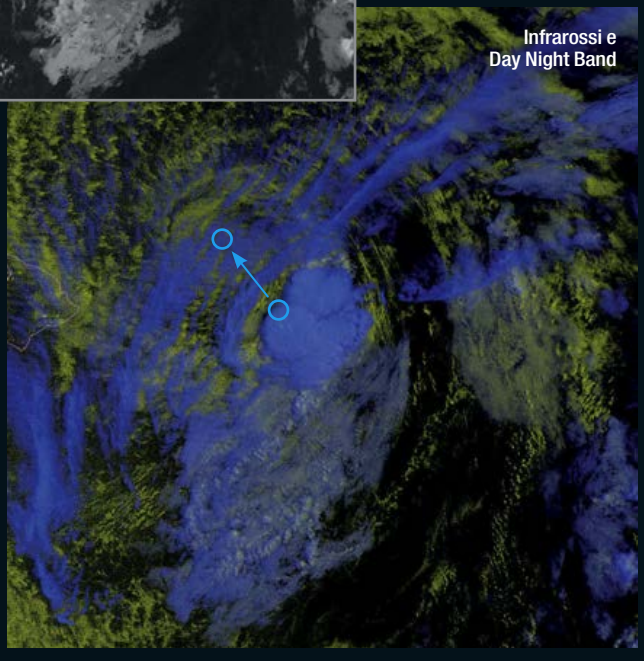
Negli ultimi tre anni gli scienziati che lavorano con questo sensore hanno osservato stupefacenti esempi delle forze terrestri, quali per esempio le grandi onde di energia convogliate verso l'alto nell'atmosfera dalle tempeste più violente. Lo strumento permette ai meteorologi di monitorare il percorso degli uragani e allertare gli abitanti, ai pompieri di seguire gli evanescenti pennacchi di fumo degli incendi boschivi e alle navi che si sono perdute di deviare la rotta evitando i blocchi di ghiaccio marino in movimento (*si vedano le immagini alle pagine successive*).

Il Day Night Band serve anche a integrare i sensori infrarossi, che hanno difficoltà a distinguere le nuvole basse e la copertura nevosa di notte, quando queste tendono a confondersi con l'ambiente circostante. Per di più gli scienziati stanno cominciando a elaborare i dati della Day Night Band con un software per specificare quanta luce lunare c'è in una certa serata o determinare la riflettività di una nube e quantificarne il contenuto di umidità. I meteorologi possono sfruttare queste informazioni per prevedere l'influenza delle nubi sulle temperature notturne al suolo, e per aiutare i piloti a evitare la formazione di ghiaccio sugli aerei. I dati possono inoltre migliorare le previsioni quotidiane del tempo ad alte latitudini, dove si vive nell'oscurità per mesi senza informazioni cruciali sui mutamenti meteorologici.

Oggi in orbita c'è soltanto un sensore Day Night Band. Il satellite Suomi-NPP, gestito dalla National Oceanic and Atmospheric Administration, vola a 824 chilometri di quota in orbita eliosincrona, per cui passa sopra un determinato punto della Terra all'ora locale delle 13.30 circa e poi di nuovo all'1.30 di notte. Se questi sensori fossero installati su satelliti in orbita geostazionaria, gli scienziati potrebbero registrare filmati delle luci terrestri per 24 ore su 24 senza interruzioni, invece di scattare semplici istantanee.

Una possibile piattaforma per questa visione notturna è una futura costellazione di satelliti geostazionari (i satelliti GOES, Geostationary Operational Environmental Satellites) il cui lancio è previsto dal NOAA intorno al 2030.

Se questi satelliti fossero dotati di un sensore come il Day Night Band, i ricercatori potrebbero seguire i cambiamenti delle luci sulla terra e sul mare e monitorare per l'intera notte nubi, pioggia, chiazze di petrolio, incendi, fumo, tempeste di sabbia, vulcani e ghiacci marini. Potrebbero inoltre intercettare le barche che fanno pesca di frodo in acque proibite e localizzare gli aerei precipitati, come nei recenti disastri di Malaysia Airlines, Air Algérie e AirAsia.



A caccia di uragani

Conoscere l'esatta posizione dell'occhio di un ciclone è molto importante, perché i venti più forti e le peggiori tempeste si verificano proprio intorno a questo punto. Un monitoraggio più preciso può salvare molte vite, influenzare le decisioni della protezione civile riguardo alle evacuazioni e far risparmiare milioni di dollari ottimizzando la mobilitazione dei soccorsi.

Il 28 luglio 2013 la tempesta tropicale Flossie si avvicinava minacciosamente a Big Island, l'isola più grande delle Hawaii. I meteorologi ne registravano meticolosamente il percorso ma, al calare delle tenebre, persero di vista l'obiettivo. Alti cirri oscuravano il livello inferiore del centro del vortice ciclonico ai sensori infrarossi dei satelliti sovrastanti (*immagini in bianco e nero*).

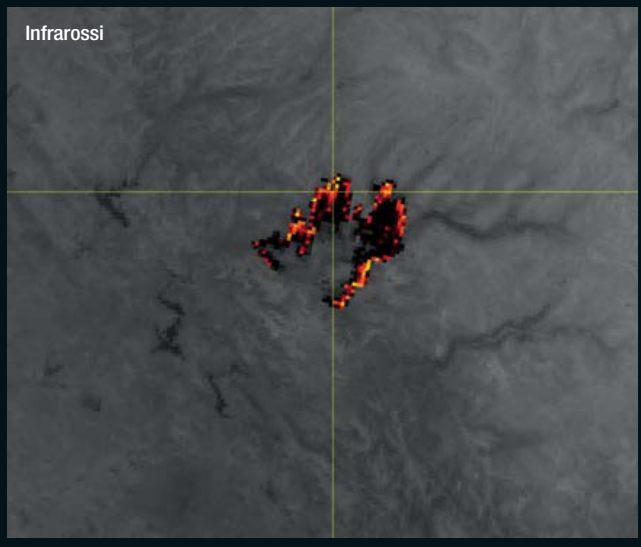
Con il trascorrere della notte, nei meteorologi cresceva il timore di qualche brutta sopresa all'alba, quando è possibile rendersi conto – nonostante la convinzione di avere seguito correttamente il percorso notturno di un uragano – che il centro del ciclone si è spostato per via della mutata direzione nei venti di livello superiore, che deviano e manovrano questi uragani.

Fortunatamente, poco prima dell'alba sopra quel punto passò il satellite con il nuovo sensore Day Night Band, che guardava proprio attraverso quelle alte e spesse nubi (*in blu nell'immagine a colori*) mostrando la circolazione dell'uragano in prossimità della superficie (*in giallo*). Le immagini rivelarono che l'occhio del ciclone si trovava molto più a nord di quanto si supponesse (*spostamento verso nord-ovest nel cerchio blu*), il che ne indeboliva il carattere minaccioso nei confronti dell'isola. Alle 5 di mattina i meteorologi del National Weather Service di Honolulu trasmisero rapidamente una previsione avvisando della deviazione il personale di emergenza, evitando così un'ormai inutile evacuazione e consentendo di risparmiare migliaia di dollari.

Salvataggio in mare

Il peschereccio americano *Kiska Sea* fa parte della flotta delle navi che praticano la pesca al granchio reale nel Mare di Bering, seguita dalla celebre serie televisiva *Deadliest Catch* [*Pesca estrema,* trasmesso in Italia su Discovery Channel, N.d.R.] Nel febbraio 2014 forti venti provenienti da nord scesero nella parte centrale del Mare di Bering, spingendo velocemente le banchise polari in un'area dove la flotta aveva predisposto le nasse per i granchi. Il 10 febbraio l'equipaggio della *Kiska Sea*, l'imbarcazione più a nord in quel momento, si mise in contatto con il programma di previsioni dei ghiacci marini della città di Anchorage, in Alaska, per informarsi sulle condizioni del ghiaccio nei pressi della sua fila di 150 nasse, ciascuna delle quali grande come un letto a una piazza e mezza. I meteorologi confermarono che il ghiaccio marino stava avanzando. La Kiska Sea si spostò per andare a ricuperare le nasse, mantenendosi in contatto con il personale del servizio meteo, ma il 13 febbraio si ritrovò circondata dal ghiaccio, spesso in alcuni punti oltre un chilometro. Per evitare di essere capovolta o fatta a pezzi, la Kiska Sea doveva andarsene rapidamente, ma la breve durata del giorno e la notte senza Luna rendevano pericolosa la navigazione. Il servizio di previsione dei ghiacci sfruttò i dati di Day Night Band per individuare le luci della nave localizzandone la posizione esatta (*il puntino bianco al centro dell'immagine a fianco; altre navi sono visibili nell'angolo in basso a destra*). Il sensore, inoltre, delineò il contorno del blocco di ghiaccio illuminato dal fioco riverbero dell'atmosfera notturna (*le linee frastagliate dalll'alto verso il basso*).

Grazie a queste dettagliate informazioni, il personale del servizio meteorologico poté aiutare il capitano della nave a individuare una rotta sicura verso ovest-sud-ovest, sfuggendo all'impatto con il blocco di ghiaccio. Il riverbero notturno dell'atmosfera terrestre aiutò la Kiska Sea a trarsi in salvo.

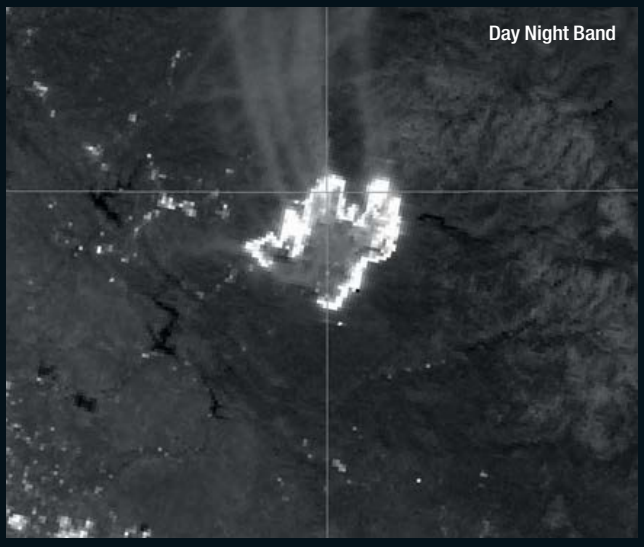


Attraverso la cortina fumogena

Negli Stati Uniti occidentali gli incendi boschivi sono in aumento, in parte per via delle siccità pluriennali. Spesso i pompieri che combattono di giorno queste violente conflagrazioni perdono terreno di notte, quando è difficile seguire la linea del fuoco oscurata dal fumo. Gli incendi, inoltre, possono generare venti molto intensi che modificano la velocità e la direzione delle fiamme, mettendo in pericolo i soccorritori. Il fumo si raffredda rapidamente, raggiungendo la temperatura dell'atmosfera circostante, e diventando praticamente invisibile nel buio ai sensori infrarossi dei satelliti.

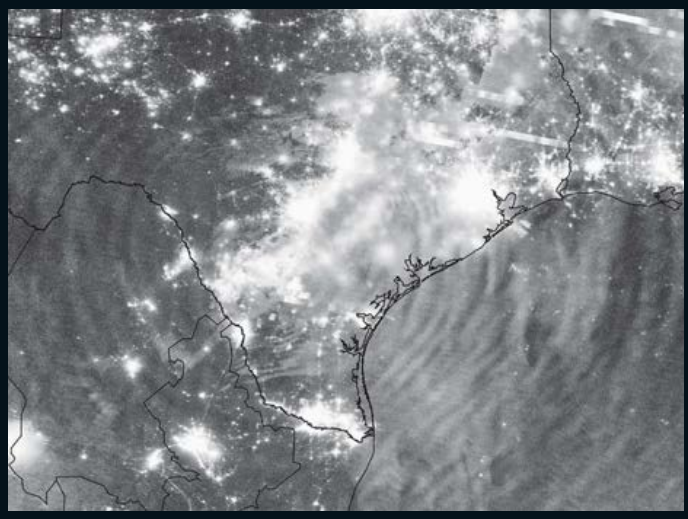
L'impossibilità di combattere le fiamme durante la notte è frustrante, perché le temperature più fredde, l'innalzamento del tasso di umidità e i venti più deboli renderebbero le ore notturne ideali per guadagnare terreno. Sono di

Pagine precedenti: composizione cortesia Nasa Earth Observatory; questa pagina e a fonte: Steven D. Miller



Cortesia William Straka University of Wisconsin–Madison e Institute for Meteorological Satellite Studies (*in alto a destra*)

una certa utilità i sensori di luce bassa, come si può vedere nelle immagini del Rim Fire, l'incendio che nel 2013 devastò la California (*in basso*). Alla luce diurna i sensori possono anzitutto mostrare chiaramente i pennacchi di fumo, fornendo indicazioni affidabili ai pompieri (*le immagini sulla parte destra; nell'immagine di sinistra, che è a infrarossi, il fumo non è presente*). E poi possono localizzare più precisamente le linee del fuoco includendo ogni minima fiammata (*è più dettagliata l'immagine di destra*). I pennacchi forniscono anche valide informazioni sui venti di superficie che soffiano sulle fiamme. L'immagine di destra mostra i forti venti provenienti da sud che trasportano il fumo verso nord; in casi come questo i soccorsi vengono avvisati di attaccare l'incendio dal fianco sud.



La luce notturna dell'atmosfera

Anche in una notte senza Luna, lontani da qualsiasi fonte di illuminazione, possiamo intravedere il profilo della nostra mano stagliandola contro il «nero» del cielo. È possibile perché negli strati atmosferici superiori alcune complesse reazioni chimiche emanano una debole luce. Gli astronauti della Stazione spaziale internazionale documentano il regolare manifestarsi di questo cosiddetto *nightglow*, un chiarore atmosferico visibile di notte la cui struttura dettagliata è tuttavia elusiva. I ricercatori che lavorano con il sensore Day Night Band si sono stupiti nel rintracciare le caratteristiche del *nightglow* nei dati raccolti vicino a un temporale notturno. Le immagini rivelavano piccole onde concentriche nel bagliore notturno. L'energia rilasciata all'interno di un temporale lancia onde atmosferiche che si propagano verso l'alto. Quando – una o due ore più tardi - queste onde raggiungono i 90-100 chilometri di quota, vicino al culmine della mesosfera, disturbano lo strato di luminescenza diffusa dal cielo notturno producendo cerchi concentrici luminosi. Come in altre occasioni, nel 2014 il sensore ha catturato questo effetto durante un forte temporale in Texas (*in basso*).

Le onde non sono solo affascinanti curiosità naturali; trasportano un tipo di energia che influenza la circolazione degli strati atmosferici superiori. La capacità del Day Night Band di rilevare le onde concentriche colma una lacuna nei modelli che studiano le dinamiche degli strati atmosferici superiori, aiutando i ricercatori a migliorare le previsioni meteorologiche e a capire più a fondo i cambiamenti climatici. Le osservazioni della superficie terrestre hanno inoltre collegato le onde di *nightglow* ad alcuni intensi terremoti, fra cui quello che generò il devastante tsunami del 2011 nei pressi di Thoku, in Giappone. Sembra che i movimenti sismici generino nell'atmosfera onde di pressione dirette verso l'alto. Il sensore Day Night Band potrebbe quindi aiutare gli scienziati a identificare gli tsunami che attraversano un bacino oceanico seguendo le onde atmosferiche che si creano sopra di essi.

PER APPROFONDIRE

Out of the Blue and into the Black: New Views of the Earth at Night. Carlowicz M., 5 dicembre 2012. **http://earthobservatory.nasa.gov/Features/IntotheBlack.**

Illuminating the Capabilities of the Suomi National Polar Orbiting Partnership (NPP) Visible Infrared Imaging Radiometer Suite (VIIRS) Day/Night Band. Miller S.D. e altri, in «Remote Sensing», Vol. 5, n. 12, dicembre 2013.

CAUTION
DO NOT CRUSH
INSULATION
CAUTION
DO NOT CRUSH
INSULATION

NASCITA DI

ESPLORAZIONE SPAZIALE

UN RAZZO

Lo Space Launch System della NASA è una cattedrale nel deserto o la nostra migliore possibilità di arrivare nello spazio profondo?

di David H. Freedman

I motori Aerojet Rocketdyne RS-25 hanno lanciato gli shuttle, e presto lanceranno lo Space Launch System (SLS), il nuovo veicolo NASA per l'esplorazione dello spazio profondo.

David H. Freedman è un collaboratore di «The Atlantic» e ha scritto cinque libri, di cui l'ultimo, *Wrong*, tratta i problemi delle scoperte pubblicate da ricercatori medici e altri esperti.

Nelle profondità di una struttura della NASA, gigantesca ma poco conosciuta, si mettono in scena da anni elaborate missioni spaziali finte. Non si tratta di una teoria complottista: è la triste storia della Michoud Assembly Facility della NASA, il vasto complesso di New Orleans in cui per decenni l'agenzia spaziale aveva costruito i suoi razzi più grandi.

Dopo l'ultimo volo dello space shuttle nel 2011, le enormi strutture ad hangar di Michoud sono state noleggiate agli studi di Hollywood per ospitare parte della produzione di *Ender's Game* e altri film di fantascienza.

Di recente però un gruppo sempre più numeroso di ingegneri e tecnici della NASA ha cominciato a lavorare a una nuova importante produzione: un sequel dei viaggi spaziali con equipaggio che hanno segnato l'epoca più gloriosa dell'agenzia spaziale statunitense. Il complesso di Michoud è tornato a produrre razzi, ospitando la costruzione del più grande e ambizioso veicolo spaziale mai realizzato: lo Space Launch System, spesso indicato con l'acronimo SLS.

SLS è il razzo con cui la NASA spera di far partire un equipaggio di astronauti da Cape Canaveral, in Florida, per un viaggio di circa un anno verso la superficie di Marte, portando con sé gli alloggi, i veicoli e le provviste di cui avranno bisogno per trascorrere almeno qualche settimana nella polvere color ruggine del pianeta. Per quella missione ci vorranno ancora circa 25 anni. Ma nel frattempo SLS potrebbe portare esseri umani sulla Luna o su un asteroide e inviare una sonda a cercare la vita su Europa, uno dei satelliti di Giove. È un progetto interplanetario avveniristico, uno dei più audaci mai intrapresi dalla NASA.

Ma allora perché tanta gente sembra detestarlo?

Dopo lo Shuttle

Dopo l'inebriante trionfo del programma di esplorazione lunare Apollo negli anni sessanta e nei primi anni settanta, si pensava che lo space shuttle avrebbe reso relativamente economico e di routine l'accesso all'orbita bassa terrestre. Invece lo shuttle aveva un costo medio di oltre un miliardo di dollari a viaggio, volava poche volte l'anno ed è stato colpito da due catastrofi. Nel 2004, un anno dopo che il *Columbia* si è disintegrato al rientro

IN BREVE

Dopo la cancellazione del programma Constellation, successore degli shuttle, gli Stati Uniti hanno deciso di affidarsi ai privati per arrivare all'orbita bassa terrestre e costruire in proprio un razzo – lo Space Launch System (SLS) – per portare equipaggio e carico nello spazio profondo.

Basato su componenti dello shuttle e sostenuto con entusiasmo soprattutto dai politici le cui circoscrizioni elettorali ne trarrebbero vantaggio, SLS è stato definito un razzo senza meta, un programma occupazionale del Congresso, senza una missione e con poche possibilità di volare.

Finora però SLS ha rispettato tempi e costi. Si stanno programmando le missioni, e un primo volo è previsto per il 2018. Come qualsiasi programma che dura decenni, la sopravvivenza di SLS dipende dalle politiche future: questa cattedrale nel deserto potrebbe essere la nostra migliore opportunità per andare su Marte?

Fotografie di Jeff Wilson

Il test al banco del primo stadio dello Space Launch System (SLS), alto circa 60 metri, è previsto allo Stennis Space Center della NASA, in Mississippi, già per il prossimo anno.

provocando sette vittime, il presidente George W. Bush ha incaricato la NASA di sostituire lo shuttle con un programma più simile all'Apollo, destinato a riportarci sulla Luna e poi su Marte. Il programma che ne è risultato, chiamato Constellation, ha portato al progetto di due nuovi razzi Ares: un veicolo a due stadi con equipaggio per il lancio di equipaggi e una versione gigante a tre stadi simile al Saturn V, destinata al trasporto di carichi. Ma nel 2011, dopo avere bruciato 9 miliardi di dollari, tutto ciò che Constellation aveva prodotto era la capsula per equipaggio Orion, in costruzione presso la Lockheed Martin, e un razzo lanciato una volta per prova. Il presidente Barack Obama cancellò il programma, invitando la NASA a indirizzare le proprie energie verso una missione su un asteroide. Per i servizi di trasporto di equipaggi e carichi alla Stazione spaziale internazionale (ISS), l'agenzia avrebbe dovuto rivolgersi al settore privato.

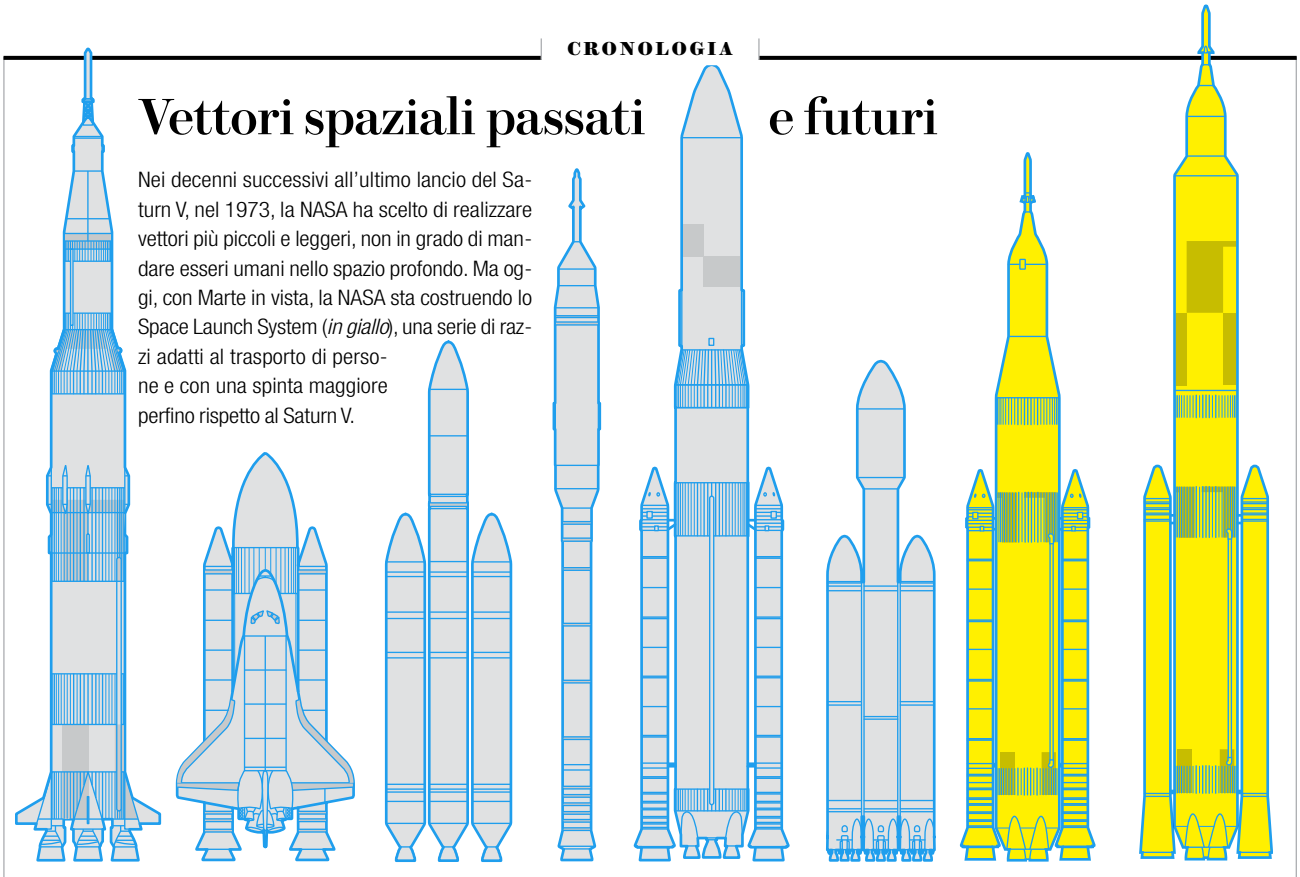
Al Congresso degli Stati Uniti però molti facevano pressione per continuare la ricerca di un nuovo razzo per carichi pesanti, in grado di portare esseri umani sulla Luna e su Marte. Il compromesso risultante è SLS, un unico grande razzo per equipaggio e carico che rinuncerebbe a molta della nuova tecnologia prevista per Ares, affidandosi invece a motori, razzi ausiliari e serbatoio dello space shuttle per gran parte della propria spinta. SLS era la versione a basso costo di Ares.

Fin dall'inizio SLS è stato ostacolato dall'impressione che il Congresso lo avesse inventato per proteggere posti di lavoro alla NASA e tra i suoi principali appaltatori. «Questo veicolo ha l'onore di essere il primo razzo progettato da un comitato di politici invece che di scienziati e ingegneri», ha scritto l'«Economist» lo scorso dicembre. Alcuni detrattori ridicolizzano SLS definendolo «Pork Rocket» o «Senate Launch System». In effetti, i senatori provenienti dagli Stati del sud che ospitano grandi centri della NASA o dei suoi appaltatori sono stati i più convinti sostenitori di SLS. Tra loro ci sono per esempio i senatori Richard Shelby, dell'Alabama (circa 6000 persone sono impiegate al NASA Marshall Space Flight Center a Huntsville, proprio in Alabama), e David Vitter, della Louisiana, in cui si trova la struttura di Michoud della NASA, dove la Boeing, principale azienda appaltatrice per lo stadio centrale di SLS, sta trasferendo molti dei suoi 1500 addetti già al lavoro su questo programma.

E il programma – così come il razzo – è davvero imponente. Inizialmente, SLS avrà un primo stadio alimentato da quattro motori RS25 dello space shuttle, che usano carburante standard a base di idrogeno e ossigeno liquidi. A entrambi i lati dello stadio centrale saranno fissati robusti razzi ausiliari per fornire l'ulteriore spinta necessaria a far decollare il razzo pesante (*si veda l'illustrazione a p. 84*). Un secondo stadio si attiverà a una quota di circa 50 chilometri per spingere il razzo in orbita, e in cima a tutta la struttura ci sarà la capsula Orion per l'equipaggio. Alto 98 metri, il

Vettori spaziali passati e futuri

Nei decenni successivi all'ultimo lancio del Saturn V, nel 1973, la NASA ha scelto di realizzare vettori più piccoli e leggeri, non in grado di mandare esseri umani nello spazio profondo. Ma oggi, con Marte in vista, la NASA sta costruendo lo Space Launch System (*in giallo*), una serie di razzi adatti al trasporto di persone e con una spinta maggiore perfino rispetto al Saturn V.



razzo sarà leggermente più basso ma più potente del Saturn V che ha lanciato ogni missione con equipaggio sulla Luna, e porterà un carico triplo rispetto allo shuttle. Nessuno dei componenti è progettato per essere riutilizzabile. Nel corso del prossimo decennio, le versioni potenziate di SLS comprenderanno motori e razzi ausiliari più potenti. La versione finale, in grado di raggiungere Marte, avrebbe una potenza ancora maggiore nello stadio superiore, arrivando a una spinta doppia rispetto al modello iniziale.

I critici sostengono che il Congresso, stabilendo l'uso di componenti dello shuttle per SLS, abbia favorito i grandi appaltatori del settore aerospaziale che hanno collaborato a quel programma. «Ancora una volta, la Boeing ringrazia», afferma Peter Wilson, analista *senior* della ricerca per la Difesa presso la RAND Corporation. Altri sostengono che la scelta di riciclare lo shuttle renderà SLS un «razzo Frankenstein», ottenuto cucendo insieme i resti di un programma defunto. L'uso dei razzi ausiliari dello shuttle, per esempio, ha già dato origine a problemi con l'isolamento termico.

Le stime del costo finale di SLS sono estremamente variabili. Secondo una proiezione resa pubblica dalla NASA, per arrivare al primo lancio di SLS ci vorranno 18 miliardi di dollari: dieci per il razzo in sé, sei per la capsula Orion e altri due per preparare Cape Canaveral per i lanci di SLS. (Per inciso, un altro grande sostenitore del programma è il senatore Bill Nelson della Florida.) Ma è trapelato uno studio interno che stimava un costo superiore a 60 miliardi di dollari nei prossimi dieci anni. Altri hanno previsto che mandare un equipaggio su Marte potrebbe costare fino a 1000 miliardi di dollari. L'obiettivo dichiarato dalla NASA è di 500 milioni di dollari per lancio, ma altri, calcolando tutti i costi del programma, sono arrivati addirittura a 14 miliardi.

I detrattori insistono nell'affermare che il governo e l'opinione pubblica non arriveranno mai a finanziare il loro entusiasmo per l'esplorazione spaziale con le centinaia di miliardi di dollari necessari per le missioni più grandiose di SLS. Varie analisi, tra cui uno studio interno della NASA, hanno suggerito che sia possibile raggiungere lo spazio profondo e Marte senza un razzo pesante. Alcuni sostengono che potrebbe essere meno dispendioso affidarsi a razzi più piccoli, simili al Delta IV usato da una decina d'anni per il lancio di satelliti, per inviare in orbita bassa il carburante, i componenti e i materiali necessari per costruire lì i grandi veicoli per lo spazio profondo.

E se poi si scoprisse che un razzo gigante è davvero necessario, dicono in molti, perché non assegnare il lavoro al cosiddetto *new space*? La SpaceX, fondata da Elon Musk, icona della Silicon Valley, ha già vinto appalti con la NASA per servizi di trasporto orbitale con i suoi apprezzati razzi Falcon 9. «SLS non fa che aggiungere piccoli miglioramenti graduali a una tecnologia sviluppata quarant'anni fa», afferma James Pura, presidente della Space Frontier Foundation, un gruppo di pressione dedicato al progresso dell'esplorazione spaziale. «La NASA dovrebbe dire all'industria privata che tipo di carico vuole mandare nello spazio profondo, offrire un determinato importo di denaro per il lavoro e far sì che siano le aziende come SpaceX a svolgerlo». SpaceX sta sviluppando un razzo pesante con 27 motori, della stessa classe di razzi pesanti di SLS, e sta lavorando a nuovi motori più poten-

Illustrazione di George Retseck

La *shell* del primo stadio sarà composta da otto segmenti ricurvi saldati insieme per formare un cilindro, al cui interno si troveranno i serbatoi dell'idrogeno liquido e dell'ossigeno liquido. Alla Michoud Assembly Facility della NASA, gli ingegneri stanno realizzando cilindri «di sicurezza» (*in alto*) per testare la robustezza dei componenti.

ti che, in caso di successo, permetterebbero al razzo di avere una spinta superiore perfino al più grande SLS mai immaginato. E la SpaceX sta progettando tutti i principali componenti in modo che siano riutilizzabili, contrariamente a quelli di SLS.

Nonostante queste obiezioni, le missioni di SLS sono in corso di programmazione. Nel 2018 un primo volo senza equipaggio invierà SLS e Orion ben oltre la Luna, e un secondo volo, non ancora programmato ufficialmente, qualche anno dopo farà altrettanto con un equipaggio, portando gli esseri umani più lontano dalla Terra di quanto sia mai avvenuto. Quello che succederà poi dipenderà dal Congresso e da un nuovo presidente, ma al momento una visita con equipaggio a un asteroide è prevista indicativamente intorno alla metà degli anni venti, seguita da una missione umana su Marte negli anni trenta.

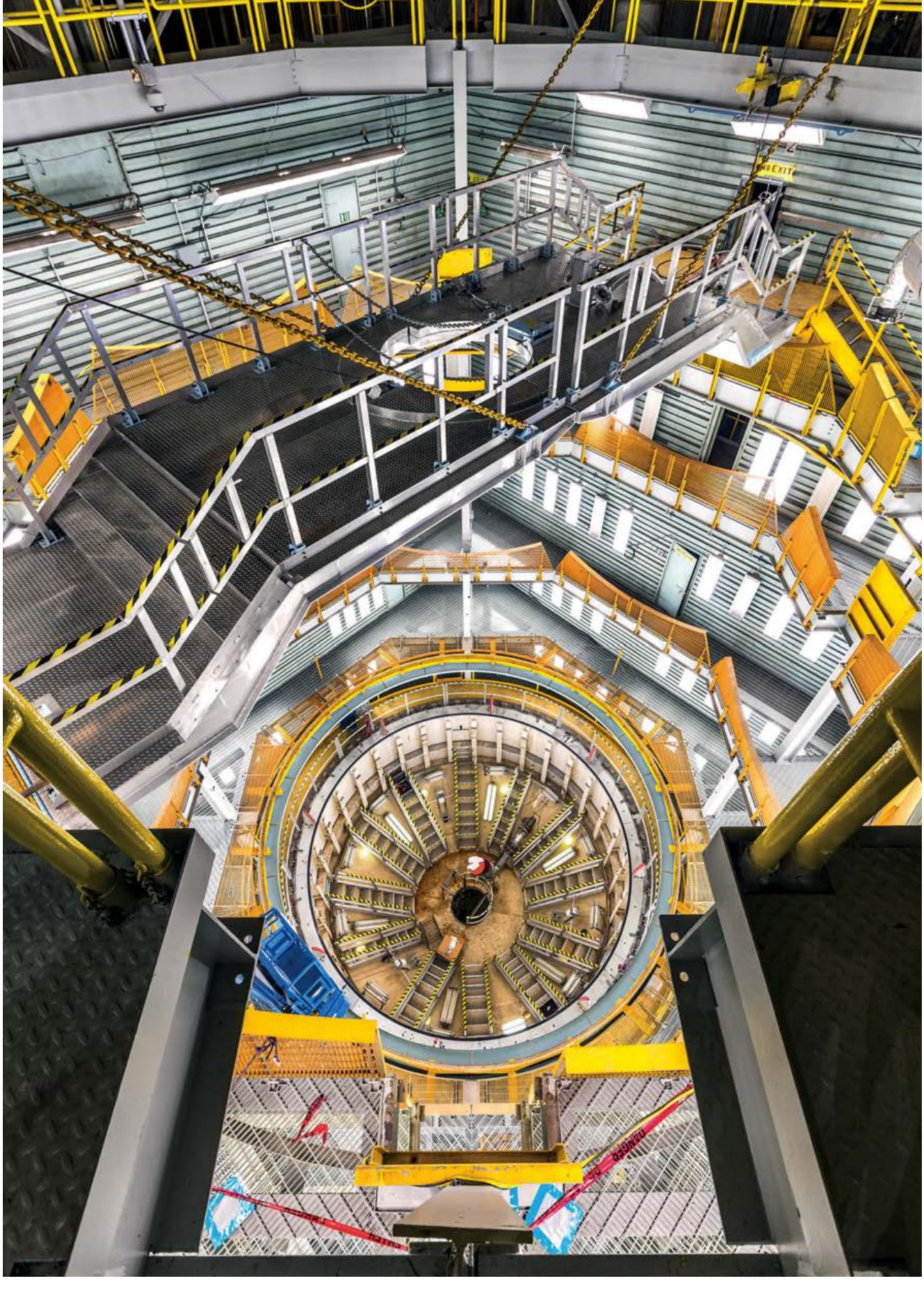
La fabbrica dei razzi

La NASA effettua i test dei suoi razzi più grandi allo Stennis Space Center, che si trova nella punta più meridionale del Mississippi, all'interno di una rete di laghi, fiumi, paludi e canali. Mentre indossiamo caschi e giubbotti di sicurezza, Tom Byrd, già vice direttore della struttura, mi dice che il centro è vicino all'acqua per tre motivi: le attività dello Stennis richiedono l'accesso a grandi chiatte, ad aziende esperte nelle costruzioni marine e a un modo per raffreddare velocemente enormi lastre di metallo esposte a temperature vicine a quella della superficie del Sole.

Allo Stennis ogni banco di prova è una gigantesca struttura in metallo e calcestruzzo che assomiglia un po' alla sezione trasversale centrale di un'enorme nave mercantile. Ci arrampichiamo attraverso uno dei banchi, e durante il percorso mi fanno vedere una sala comandi che non sarebbe stata fuori posto in una centrale elettrica sovietica degli anni cinquanta del Novecento: per lo più manometri a vapore e manopole grosse e pesanti. Chiedo perché non li hanno sostituiti con pannelli digitali. La risposta si rivelerà una specie di mantra del programma SLS: ci sono voluti decenni per far funzionare bene queste cose nonostante forze imperscrutabili e innumerevoli guasti, perché cambiarle?

Dall'alto del banco di prova, però, vedo che in realtà lo Stennis è in pieno rinnovamento. Canali e strade vengono modificati in modo che possano affrontare carichi maggiori, e gli stessi banchi di prova sono sottoposti a ristrutturazioni e rinforzi perché con SLS subiranno stress molto più forti che con qualsiasi razzo precedente. «Le forze che si generano qui sono maggiori di quelle dei lanci veri e propri perché nel banco di prova un razzo non può sfuggire alla sua colonna di fuoco e fumo», spiega Byrd, che aiuta a dirigere i lavori di collaudo. Durante un test di circa nove minuti, migliaia di ugelli sparano getti d'acqua ad alta pressione sulle pareti del banco di prova, non per raffreddarle ma per contenere le vibrazioni estreme che altrimenti potrebbero distruggerlo. Anche prima di SLS, era vietato costruire strutture private in un raggio di 16 chilometri dai banchi di prova, perché le onde sonore provocate da un test sarebbero bastate a farle crollare. E i motori di SLS produrranno la spinta di un razzo più potente che sia mai stata generata sulla Terra.

Appena oltre il confine tra Mississippi e Louisiana, a qualche ora di distanza, si trova il complesso di Michoud, che ho visita-



In una camera di prova idrostatica nel complesso di Michoud gli ingegneri pompano acqua nel serbatoio dell'ossigeno liquido per rilevare eventuali perdite. Quando il razzo sarà completamente assemblato il serbatoio dell'ossigeno si troverà sopra un serbatoio di idrogeno liquido molto più grande, da cui lo separerà una sezione «interserbatoio».

to il giorno successivo. Contrariamente alla posizione isolata dello Stennis,è a un'area industriale nei sobborghi di New Orleans. Per certi aspetti è una fabbrica qualsiasi, con postazioni di saldatura, carrelli elevatori, gru e contenitori pieni di componenti. Ma tutto avviene su una scala molto più grande.

All'interno il complesso di Michoud è scintillante. Percorrerlo significa vederlo riempirsi di minuto in minuto di nuove attrezzature: imponenti bracci robotici in grado di muoversi a velocità impressionanti, piattaforme rotanti e sollevatori telescopici simili a gru che spostano rapidi da una stazione a un'altra componenti pesanti decine di tonnellate, sistemi di organizzazione dei componenti che assicurano che un motore composto da centinaia di migliaia di parti non finisca per averne qualcuna in più o in meno. Quando si costruisce un macchinario potente come il motore di un razzo SLS, bisogna avere una tolleranza bassissima alle imprecisioni nell'assemblaggio. «Se il nostro sistema di tracciabilità dei pezzi ci dicesse che manca una di queste minuscole rondelle, bloccheremmo tutto il lavoro fino a ritrovarla», spiega Patrick Whipps, uno dei manager NASA nel complesso di Michoud.

Molti dei componenti che finiranno nei razzi costruiti qui provengono da altri veicoli. «Puntiamo a usare il più possibile i componenti di altri razzi, che siano trasduttori di pressione, termometri o sistemi idraulici», afferma William Gerstenmaier, l'amministratore associato della NASA che ne dirige il programma di esplorazione spaziale umana. «Su SLS non avremo molti componenti unici».

Però, aggiunge Whipps, nuovi macchinari e metodi produttivi dovrebbero rendere la costruzione dei componenti di SLS molto meno costosa di quanto fosse per lo shuttle. Gli aggiornamenti comprendono una macchina da saldatura per attrito grande come una cisterna cittadina verticale. Enormi sezioni di razzo in lega di alluminio possono entrare interamente in questo mostro, dove dei trapani uniranno le due sezioni lungo i bordi che le collegano. È il più grande macchinario di questo genere al mondo.

SLS va oltre la tecnologia dello shuttle anche per molti altri aspetti. Per analizzare gli stress provocati dallo scuotimento e da altre instabilità aerodinamiche durante la salita nell'atmosfera, la NASA si è affidata a un software per la dinamica dei fluidi all'avanguardia. Senza di esso gli ingegneri avrebbero dovuto riprogettare il razzo per fornirgli più resistenza agli stress, in modo da coprire un margine di errore molto più ampio. Inoltre nuovi sistemi avionici e di controllo digitale, basati su microchip più avanzati di varie generazioni rispetto a quelli dello space shuttle, faranno sì che i comandi automatizzati di volo e dei motori reagiscano molto più rapidamente a cambiamenti improvvisi e situazioni pericolose.

Mentre per i primi quattro voli SLS viaggerà con motori avanzati dallo shuttle, a partire dagli anni venti ne serviranno nuove versioni. Per costruirle la NASA si sta affidando a macchinari che produrranno le migliaia di pale di turbina necessarie, grandi come monete, saldando con il laser nelle forme desiderate il metallo ridotto in polvere, invece di realizzarle singolarmente, riducendo il tempo di produzione delle pale per un motore da un anno a un solo mese. «Stiamo usando dappertutto i comandi computerizzati per ridurre al minimo i costi della manodopera e migliorare la precisione», spiega Gerstenmaier.

Assemblare in orbita componenti trasportati da razzi più piccoli aumenta moltissimo il numero dei voli necessari e quindi i rischi di ritardi e soprattutto di catastrofi

I punti a favore

Quando il programma SLS sarà pienamente avviato, l'obiettivo sarà realizzare almeno due razzi l'anno, forse addirittura quattro: in questo settore, è una produzione di massa. Ma, se la NASA non riuscirà a convincere l'opinione pubblica statunintense che vale la pena di costruire il suo Space Launch System, si bloccherà tutto.

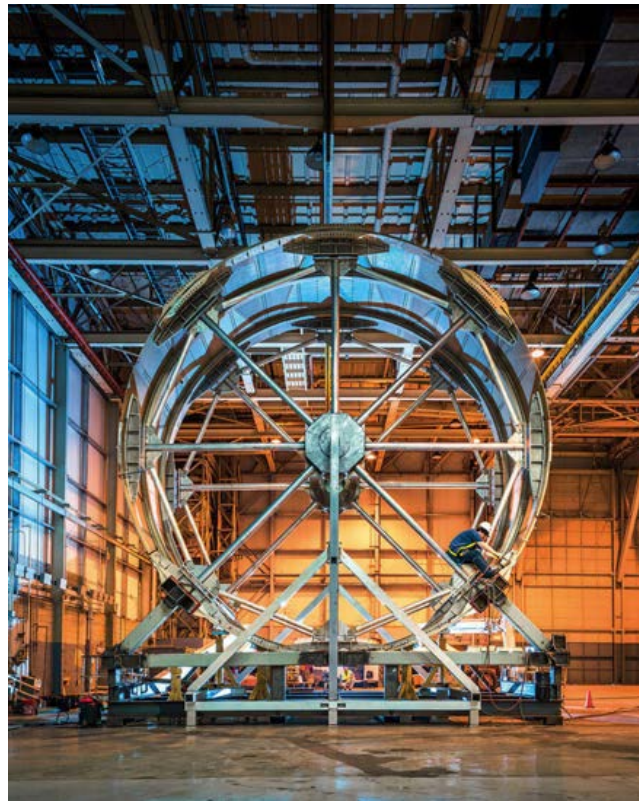
Alle due obiezioni di fondo – che 18 miliardi di dollari sono troppi per un razzo e che a fare scienza nello spazio si dovrebbero mandare sonde e robot invece di esseri umani – si può rispondere in termini di prospettiva. Diciotto miliardi di dollari non sono poi così tanti per acquisire la capacità di mandare esseri umani su un altro pianeta, e ritorno: migliorare il traffico automobilistico di Boston attraverso il cosiddetto «Big Dig» costa un terzo di più. Ed è facile sostenere che ci sono metodi più economici per farlo: i successi e i record di sicurezza della NASA hanno stabilito parametri di confronto elevati, ed è difficile che l'opinione pubblica accetti di alzare le probabilità di una catastrofe per risparmiare cifre che rappresentano qualche millesimo del bilancio federale.

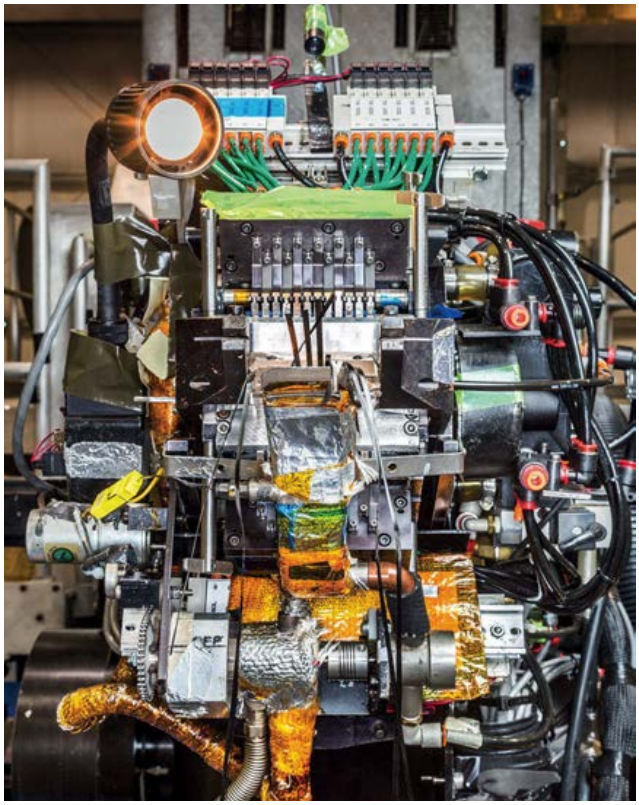
Quanto all'uso di sonde e robot, spesso si ricorre all'argomento che i risultati scientifici di una missione umana possono essere di gran lunga maggiori di quelli che può ottenere un robot. Ma la vera ragione del volo spaziale umano sono i progressi verso l'espansione della specie umana oltre il pianeta d'origine.

In effetti, il programma ha molti fan. I suoi sostenitori comprendono il personale NASA dall'attuale dirigenza alla base, un certo numero di esperti dello spazio e una fetta crescente dell'opinione pubblica statunitense, che lo scorso dicembre si è entusiasmata per l'impeccabile volo orbitale della capsula per equipaggio Orion che si troverà in cima a SLS quando sarà diretto verso lo spazio profondo.

Sarebbe possibile usare razzi più piccoli per portare i componenti e il carburante nello spazio e assemblarli in orbita? Secondo i calcoli di Gerstenmaier, per una missione su Marte con equipaggio serviranno circa 500 tonnellate di materiale. È un'impresa che SLS potrebbe compiere in quattro lanci, ma che ne richiederebbe almeno due dozzine con un Delta IV a pieno carico. E ciascuno di quei lanci aumenta un po' il rischio del programma, perché la probabilità che accada il peggio è più alta nel primo minuto di una missione. Inoltre aumenta il rischio di allungare i tempi, e quindi di sommare i ritardi di tutti i lanci. «Con lo space shuttle abbiamo adottato l'approccio dei molti lanci per costruire la Stazione spaziale, e alla fine ci sono voluti decenni», ricorda.

Ma il potenziale difetto più importante di un trasporto in piccoli segmenti, continua Gerstenmaier, è l'enorme entità della costruzione che dovrebbe essere eseguita in orbita, che include abitacoli, veicoli interplanetari e depositi di carburante. È un compito scoraggiante, vista la nostra limitata esperienza nell'attività molto insidiosa dell'assemblaggio nello spazio. «Ci sarebbe un numero enorme di agganci; si tratterebbe di montare tutto nello spazio», afferma. «Inevitabilmente alcuni pezzi non funzionerebbero bene, e sarebbero difficili da riparare in loco. Aggiunge una misura impressionante di complessità e rischio». Le enormi dimensioni di SLS permetteranno di mettere insieme carichi più ingombranti e larghi fino a 10 metri, come quelli con le schiere di pannelli solari e antenne, che altrimenti dovrebbero es-





A Michoud gli operai costruiscono gli anelli che collegano i segmenti del cilindro usando un macchinario apposito (*in alto a sinistra*). La «lattina di birra» (*in alto a destra*) mantiene in posizione i segmenti del cilindro per il collaudo. In basso a destra, gli operai sollevano un pannello di alluminio sullo strumento usato per assemblare la sommità a cupola del primo stadio. A sinistra in basso si vede il macchinario che produce il rivestimento in fibra di carbonio della capsula Orion che SLS porterà nello spazio.

sere ripiegati con difficoltà, quindi con un maggiore rischio di danni o malfunzionamento.

Un altro vantaggio dei veicoli pesanti è che parte della spinta extra di un razzo più grande si può convertire in maggiore velocità, con cui arrivare a destinazione più rapidamente. Questo è un fattore essenziale per i voli con equipaggio verso Marte, in cui l'esposizione alle radiazioni e la necessità di approvvigionamenti pongono limiti rigorosi alla durata di una missione. E ne possono trarre vantaggio anche le missioni robotiche su lunghe distanze. Grazie alla sua potenza, SLS può inviare sonde nello spazio profondo con il suo stesso carburante, invece di sfruttare la fionda gravitazionale intorno ai pianeti come le missioni Voyager e Galileo. «SLS ridurrà il tempo di un viaggio su Europa da oltre 6 a 2,5 anni», afferma Scott Hubbard, docente di aeronautica e astronautica alla Stanford University. «Sarebbe uno stimolo a una missione scientifica estremamente interessante». Aggiungete questi minori tempi di viaggio ai carichi più alti e alla maggiore flessibilità, e avrete ottimi argomenti per un razzo pesante. È uno dei motivi per cui Cina e Russia stanno lavorando a progetti simili a SLS.

E lo stesso vale per la SpaceX. Ma se il *new space* è una fonte naturale per i trasporti da e verso l'ISS, non lo è altrettanto per i razzi destinati allo spazio profondo. Non esiste un mercato per l'esplorazione nello spazio profondo oltre alla manciata di missioni che la NASA ha programmato a livello indicativo per SLS. Questo elimina la possibilità che la SpaceX finanzi i costi dello sviluppo di un razzo pesante grazie a vari clienti commerciali, come ha fatto con i razzi più piccoli. Priva di questo vantaggio, la SpaceX non ha una posizione migliore rispetto a Boeing, Lockheed Martin e altri appaltatori tradizionali del settore aerospaziale, spiega l'ex astronauta della NASA Scott Parazynski, oggi all'Arizona State University. «Sono appaltatori molto capaci, e non vedo la SpaceX in modo radicalmente diverso», spiega.

Quando si tratta di lanciare un equipaggio di eroi nello spazio profondo sfruttando un'esplosione appena controllata, un po' di conservatorismo potrebbe non essere un'idea così cattiva

Restare legati alle soluzioni già affermate, invece di cercarne di nuove, potrebbe essere una strategia fallimentare nel settore delle auto, dei cellulari o del software, ma quando si tratta di lanciare un equipaggio di eroi nello spazio profondo sfruttando un'esplosione appena controllata, un certo livello di conservatorismo potrebbe non essere una cattiva idea. Con i suoi primi razzi, la SpaceX ha subito varie esplosioni e perdite di controllo: niente di strano nello sviluppo di nuovi progetti. Lo scorso ottobre un membro dell'equipaggio è rimasto ucciso nell'esplosione del prototipo di un razzo costruito dalla Virgin Galactic per portare turisti nello spazio suborbitale; appena tre giorni prima era esploso un razzo senza equipaggio costruito dall'azienda privata Orbital Sciences e destinato alla Stazione spaziale.

Questi incidenti servono a ricordare che, nonostante decenni di esperienza, quello dei razzi è un settore difficile, con un forte rischio che si verifichino catastrofi. È uno dei motivi per cui i leader dell'Inspiration Mars Foundation, un'organizzazione privata che cerca di rendere possibile una missione su Marte, sono tra coloro che, dopo uno scetticismo iniziale, sostengono SLS. Altri esperti di Marte concordano. «SLS è stato criticato da subito e definito un razzo senza una meta», commenta Hubbard. «Ma adesso ha missioni chiare e difendibili, ed è ora che tutti si mettano a pensare come si può fare perché riescano».

Velocità di fuga

Lo scorso gennaio uno degli imponenti banchi di prova dello Stennis Space Center si è trasformato in una palla di fuoco per 500 secondi. Era il primo test di un motore R25 dal 2009, ed è perfettamente riuscito. Se anche i prossimi test avranno successo, il tempo potrebbe essere un vantaggio per SLS. Più a lungo dura il programma – se rispetta costi e scadenze – più dimostrerà la propria validità. Nei suoi primi tre anni ha ottenuto progressi facili e rapidi, superando agevolmente le rielaborazioni del progetto e arrivando alle prime fasi della produzione. Per essere un nuovo grande razzo con equipaggio, si tratta di una velocità incredibile. Sono emersi pochi problemi tecnici: in fondo il peggiore è stato quello delle intercapedini di isolamento, ma si è risolto rapidamente con uno strato di adesivo.

Negli anni a venire, con nuovi presidenti e nuovi rappresentanti al Congresso, potrà succedere di tutto, sostiene Joan Johnson-Freese, docente all'U.S. Naval War College specializzata nello spazio. Forse nel governo prevarrà l'idea che per ora dovremmo abbandonare Marte e pensare ad allestire una base che sia un po' più vicina a casa. «A Washington alcuni hanno una nostalgia della Luna quasi criminale», commenta Johnson-Freese. Altri credono che la NASA per ora dovrebbe lasciar perdere sia la Luna sia Marte e concentrarsi sugli asteroidi, non solo perché potrebbero contenere risposte a domande importanti sull'origine del sistema solare, ma anche perché potremmo imparare a deviare questi oggetti celesti o distruggerli nel caso fossero diretti verso il nostro pianeta.

Tuttavia il fascino di Marte è ancora diffuso. E ultimamente si è rafforzato, perché sempre più persone si rendono conto che il Pianeta Rosso potrebbe essere raggiungibile nel corso della loro vita. «Tutti vorremmo vedere il nostro sbarco su Marte», commenta Parazynski. «Altre missioni sarebbero una distrazione». Le sue perplessità su SLS derivano dalla preoccupazione che lo possiamo abbandonare in quanto costoso o non immediato come mezzo per andare su Marte, non dal dubbio che possa essere inadeguato per arrivarci.

Al momento non ci sono ostacoli in vista per SLS. Tuttavia non si può dire altrettanto delle proposte alternative di razzi per Marte, e potrebbe bastare questo ad assicurare che il progetto continui. Certo, è stato raffazzonato con mandati del Congresso. Ed anche vero che a SLS manca l'entusiasmo innovativo dei progetti rivali. Ma tutto fa presagire che funzionerà secondo i programmi e che ha la copertura finanziaria per il prossimo futuro. Tutto questo dovrebbe bastare a fare in modo che sia SLS a portarci su Marte. E se ci riuscirà, di sicuro le critiche saranno subito dimenticate. ■

PER APPROFONDIRE

Pale Blue Dot: A Vision of the Human Future in Space. Sagan C. e Druyan A., Random House, 1994.

NASA Strategic Plan 2014: www.NASA.gov/sites/default/files/files/FY2014_NASA_SP_508c.pdf.

NASA's Human Path to Mars. Gerstenmaier W., **www.NASA.gov/sites/default/files/files/20140429-Gerstenmaier-Human-Path-Mars.pdf.**

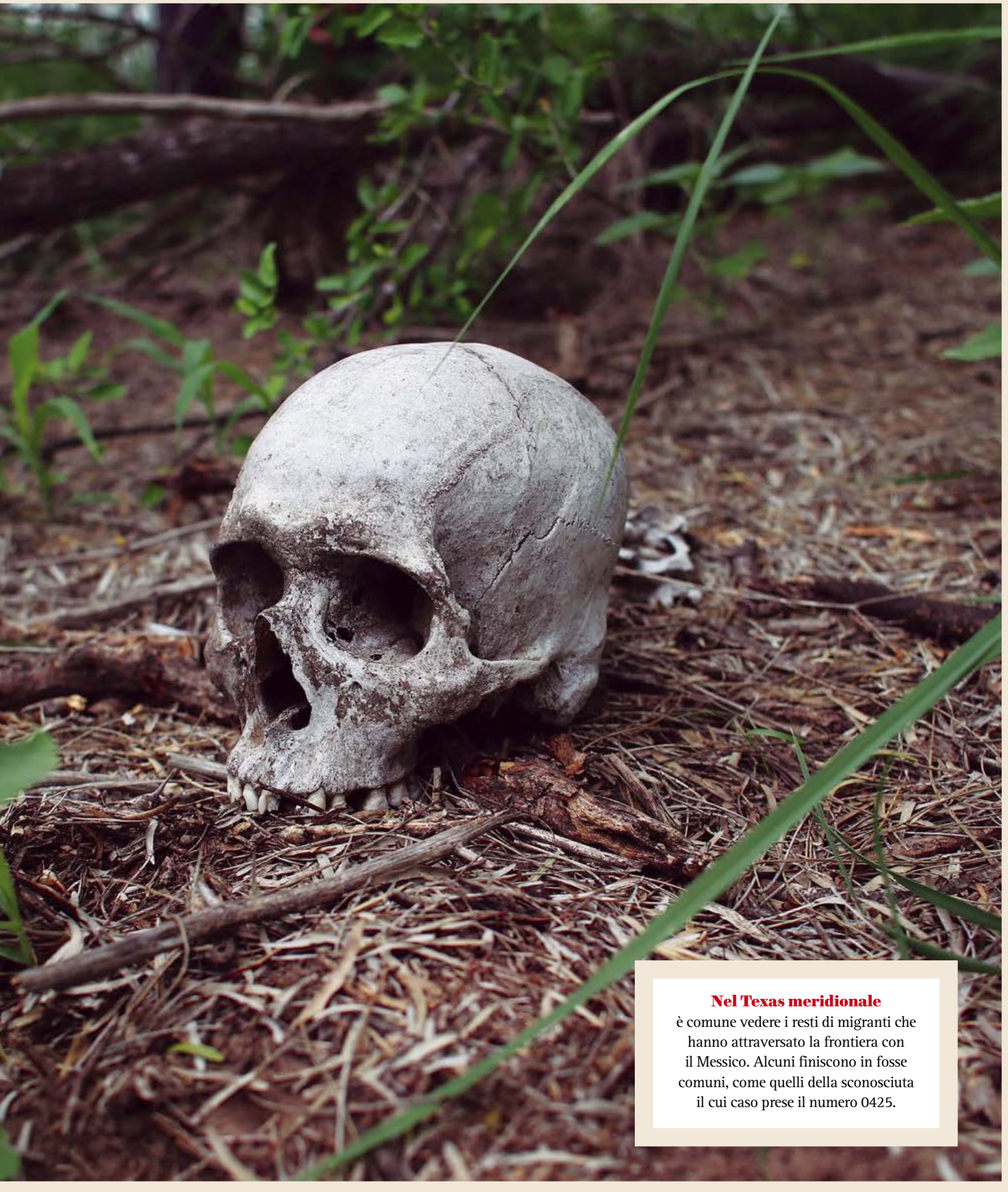
Verso la Luna e oltre. Dingell C. e altri, in «Le Scienze» n. 470, ottobre 2007.

SCIENZE FORENSI

Il mistero del caso 0425

Gli scienziati stanno identificando i resti di migranti senza documenti morti durante l'attraversamento del confine tra Messico e Stati Uniti, i cui nomi altrimenti resterebbero ignoti per sempre

di Ananda Rose



Nel Texas meridionale è comune vedere i resti di migranti che hanno attraversato la frontiera con il Messico. Alcuni finiscono in fosse comuni, come quelli della sconosciuta il cui caso prese il numero 0425.

Il 28 giugno 2012, un operaio del ranch «La Cantina», nella contea di Brooks (Texas) stava controllando le mangiatoie del bestiame, quando ha trovato delle ossa, sparse tra gli arbusti di mesquite per un'area di due metri e mezzo di diametro.

Ananda Rose è autrice di *Showdown in the Sonoran Desert: Religion, Law, and the Immigration Controversy* (Oxford University Press, New York, 2012). Sta ora scrivendo il suo secondo libro sulla morte degli emigranti in Texas.

Secondo il successivo rapporto del vice sceriffo della contea, i resti erano già stati trovati dagli animali selvatici, che avevano lasciato i segni dei loro denti sulle ossa. C'erano ciuffi aggrovigliati di capelli neri, vestiti stracciati e pochi effetti personali: uno zaino, quattro pacchetti di spaghetti al pollo, una spray antizanzare, uno spazzolino e una confezione integra di Doritos alla salsa verde.

Il funerale per indigenti è stato celebrato di lì a poco nel cimitero del Sacro Cuore, a Falfurrias, la capitale della contea, a circa 15 chilometri dal luogo in cui era stato ritrovato il corpo. I resti e gli effetti personali sono stati trasferiti alle pompe funebri locali e registrati con il numero 0425.

I resti sembravano appartenuti a un emigrante che aveva attraversato illegalmente il confine con il Messico. Lungo questa linea di 3000 chilometri, le pattuglie statunitensi di confine arrestano ogni anno centinaia di migliaia di migranti, compresi bambini che viaggiano da soli. Ma, rispetto ai dati ufficiali, quelli che tentano l'impresa sono molti di più; fuggono dal caos dei loro paesi d'origine, dalla violenza delle bande criminali, dal traffico di droga, da economie al collasso e da governi inefficienti e corrotti. Nel terreno piatto e informe tra i due confini, dove nei mesi estivi la temperatura arriva a superare i 40 gradi, spesso i migranti finiscono per soccombere, vittime di disidratazione, malattie, incidenti, oppure semplicemente si perdono nei chilometri di arbusti dopo essere stati abbandonati dai trafficanti di esseri umani.

Se il numero 0425 fosse morto in Arizona le autorità avrebbero eseguito un'autopsia, inviato un campione di DNA alle banche dati nazionali e, se si fosse trovata una corrispondenza, avrebbero comunicato l'identità al Consolato del presunto paese d'origine, che si sarebbe poi preoccupato di avvertire i familiari. Il Texas invece ha grossi problemi ad affrontare il crescente afflusso di immigrati senza documenti, accorsi in quello Stato dopo il rafforzamento dei controlli negli altri Stati di frontiera. Tra l'ottobre 2011 e l'ottobre 2014 in Texas sono morti quasi 700 migranti, contro i circa 540 di California, Arizona e New Mexico messi insieme.

Nella contea di Brooks, dove è stato trovato il cadavere, un residente su tre vive al di sotto della soglia di povertà: non ci sono né le infrastrutture né le risorse finanziarie per fronteggiare il flusso di clandestini. Di conseguenza spesso i resti vengono semplicemente sepolti senza alcun tentativo di scoprire chi fosse il defunto.

Quando Lori E. Baker, antropologa forense della Baylor University, sentì parlare per la prima volta di come avvenivano le sepolture al Sacro Cuore, rimase inorridita. La Baker, che nel 2011 aveva collaborato alle indagini sulle violazioni dei diritti umani in Perù, mise insieme una piccola squadra di scienziati forensi e stu-

IN BREVE

Negli ultimi anni il numero di emigranti senza documenti morti attraversando il confine tra Messico e Texas ha superato quello di tutti gli altri Stati di frontiera messi assieme. Sopraffatti, i governi delle contee a volte ne hanno inumato i resti in fosse comuni.
Un'équipe di scienziati forensi, assieme ad alcuni studenti di dottorato, ha iniziato a cercare i resti nei cimiteri del Texas meridionale, per identificare le salme e restituire i corpi alle famiglie.
Il caso numero 0425, un'emigrante morta proprio dopo l'arrivo in Texas, illustra le difficoltà che devono affrontare gli scienziati nel cercare di determinare il sesso, l'età e la nazionalità di queste persone a partire dallo scheletro.

Pagine precedenti: istockphoto (*faldone*); John Moore Getty Images (*cranio*); cortesia Krista Latham Università di Indianapolis (*targhetta*); questa pagina: John Moore Getty Images

La donna nota come «caso 0425» (*a fianco*) è morta nel Texas meridionale nel 2012. I suoi resti sono stati esumati da Lori E. Baker (*a fronte, con il cappello di paglia*) e dai suoi studenti della Baylor University nel 2013.

denti di dottorato per riesumare e identificare i resti dei clandestini sepolti al Sacro Cuore. Il gruppo ha lavorato come in un sito archeologico, ma anziché scavare antiche rovine ha affrontato il compito delicato e ripetitivo di dissotterrare e documentare resti ed effetti personali. Uno dei primi casi che hanno preso in esame è stato il numero 0425.

Costruire un profilo biologico

Nella tarda primavera del 2013, dopo settimane di scavi, gli scienziati avevano disseppellito circa 70 migranti, molti più di quanti si aspettassero. Alcuni erano stati messi dentro le casse del latte, altri erano stati mescolati in un unico sacco di plastica, altri ancora non avevano nessun tipo di identificativo, nemmeno un generico «donna sconosciuta». «Sappiamo che dobbiamo aspettarci sempre l'inaspettato» è il motto informale del gruppo scritto nel 2014 da Krista Latham nel blog Beyond Borders (oltre i confini). Latham dirige il laboratorio di antropologia molecolare presso l'Università di Indianapolis, e si era offerta per guidare una squadra.

Latham aveva portato con sé quattro studenti. Le condizioni di lavoro erano difficili: oltre al caldo e all'umidità– e a ragni, scorpioni, serpenti e formiche rosse – c'era la completa assenza di mappe o di qualunque tipo di documento sul numero e la natura delle inumazioni. «Non sapevamo se erano stati sepolti in casse di legno, che avrebbe protetto i resti, o in sacchi di plastica», dice, «così dovevamo procedere molto lentamente, con piccoli attrezzi e a mano, per non danneggiarli». Usando delle corde, l'équipe ha suddiviso il cimitero in una griglia. Gli studiosi misuravano la distanza dal punto in cui stavano scavando, sopra e sotto la superficie, a un punto fisso al centro della griglia. In questo modo potevano registrare qualunque cosa sbucasse fuori dai vari strati del terreno, fino ad avere una mappa completa del sito.

Nel luglio 2013 i resti numero 0425 sono stati assegnati a Kate Spradley, studiosa di antropologia biologica del Centro di antropologia forense della Texas State University. Spradley spiega di essere stata spinta ad accettare quel lavoro perché sentiva che avrebbe arricchito la sua attività di insegnamento e di ricerca con un impegno di servizio di vitale importanza.

A una prima catalogazione dei resti, il caso 0425 sembrava relativamente semplice. Il rapporto ufficiale collegava i resti ad Areli Noemi Blanco Sosa, 39 anni, del Salvador, il cui nome era stato desunto da una carta d'identità ritrovata non lontano dalle ossa sparse al ranch La Cantina, e che quindi l'ufficio dello sceriffo aveva dedotto appartenessero a Blanco Sosa. A differenza di altri casi in cui erano state trovate solo poche ossa, lo scheletro si presentava quasi intatto (*si veda il box a p. 95*).

Nel Centro di antropologia forense della Texas State University ci sono file di tavoli di acciaio su ciascuno dei quali è disteso uno scheletro disposto attentamente in modo da conservare la posizione anatomica delle ossa: il radio deve essere vicino all'ulna in ogni tavolo. Spradley ha iniziato a lavorare sul caso 0425 creando un inventario fotografico dello scheletro e dei suoi effetti personali. Ma benché avesse a disposizione uno scheletro quasi completo e strumenti forensi all'avanguardia, l'identificazione di 0425 si è rivelata un'impresa sorprendentemente difficile.

Durante l'inventario, infatti, la scoperta, all'interno della scarpa destra, di un'altra carta d'identità, appartenente a una donna dell'Honduras di 37 anni, ha messo in dubbio che 0425 fosse davvero Blanco Sosa.

A quel punto l'équipe ha iniziato a ricostruire un profilo biologico del numero 0425: un'analisi di sesso, ascendenza, età, statura e impronte dentali. I ricercatori hanno poi immerso i resti in acqua calda e detergente, un processo chiamato macerazione, che ac-

Cortesia Krista Latham Università di Indianapolis (*body bag*); cortesia della famiglia di Maria Albertina Iraheta Guardado (*ritratto*)

celera la naturale decomposizione, «allentando» cartilagini, legamenti, tendini e altri tessuti molli. Lo scheletro è stato lasciato ad asciugare, inventariato e conservato per alcuni mesi.

Forse la difficoltà maggiore in questo settore di ricerca è trovare fondi sufficienti per effettuare l'analisi forense. Né il governo federale né quelli locali forniscono denaro per identificare degli immigrati poverissimi che non sono cittadini statunitensi. La mancanza di fondi significava che le varie procedure di laboratorio necessarie per un profilo biologico dovevano aspettare. La situazione che questi scienziati volontari dovevano affrontare è efficacemente descritta in una richiesta di fondi presentata da Spradley, che suona come un'appassionata richiesta di aiuto. Paragona il numero di resti di migranti recuperati nella contea di Brooks nel 2012 al numero di passeggeri di un Boeing 737. «Se precipita un 737, è considerata una tragedia collettiva, e lo stato investe fondi per recuperare e identificare i passeggeri,» scrisse. «Poiché le morti di questi migranti si sono accumulate lentamente, sebbene tutte nella stessa area geografica, non la si considera una tragedia collettiva e non si stanziano fondi per gestire questa particolare sciagura.»

Il 20 marzo 2014, quasi un anno e nove mesi dopo che erano stati ritrovati i resti numero 0425, la Spradley e i suoi studenti sono finalmente riusciti a riprendere le analisi del profilo del corpo ritrovato. In questi casi, l'identificazione preliminare dei dettagli più basilari dell'identità di una persona, quali sesso e statura, non è sempre semplice a causa del deterioramento dei resti e della mancanza di ossa fondamentali. Lo scheletro relativamente intatto significava che Spradley era in grado di effettuare una valutazione completa del bacino. L'insieme delle ossa del bacino, tra cui l'arco ventrale, la concavità sottopubica e il ramo ischiopubico dell'osso iliaco, consentirono alla squadra di confermare con «una probabilità del 100 per cento» che 0425 era di sesso femminile, secondo il rapporto del gruppo di Spradley.

Per stimare la statura, gli scienziati hanno usato un'altra tecnica, chiamata «metodo anatomico di Fully», che misura la lunghezza delle ossa lungo la linea mediana del corpo, dai talloni alla testa. Questo metodo fu sviluppato per misurare l'altezza dei francesi uccisi durante la seconda guerra mondiale nel campo di concentramento di Mauthausen in Austria. Per i resti numero 0425 è stata stabilita un'altezza tra 142 e 152 cm.

La stima dell'età presentava più difficoltà: alcuni esperti sostengono persino che sia praticamente impossibile stabilire l'età esatta di un individuo al momento della morte solamente sulle base dello scheletro, perché alcune persone sperimentano più usura alle ossa rispetto ad altre. Spradley e il suo gruppo hanno esaminato la struttura delle ossa per determinare quale fosse l'età della defunta. L'analisi ha dimostrato che le epifisi, cioè le parti finali delle ossa più lunghe, non erano completamente fuse, suggerendo che aveva condotto una vita con un alto grado di stress fisico o privazioni alimentari che forse avevano ritardato la sua crescita da bambina. «Con l'invecchiare dell'individuo,» spiega Spradley, «le epifisi si fondono, così si può sapere se si ha a che fare con un adultoche ha almeno 25 anni.» Le ossa non completamente fuse del numero 0425 hanno portato alla stima di un'età tra i 20 e i 35 anni.

Le analisi del DNA sono effettuate solo dopo che il profilo biologico è stato collegato a una persona scomparsa

Da dove veniva?

Il passaggio successivo è stato il tentativo di stabilire l'ascendenza esaminando il cranio. Spradley aveva maturato la sua esperienza nella cosiddetta «analisi craniometrica» durante gli studi di dottorato, quando studiò i crani di individui di origine africana, scoprendo che gli stress fisici subiti durante l'infanzia possono portare a cambiamenti nella struttura ossea. La squadra ha raccolto i dati necessari all'analisi usando un programma di digitalizzazione per realizzare un modello computerizzato tridimensionale del cranio.

Le informazioni sono poi state immesse in un programma chiamato FORDISC 3.1, che ha consentito di confrontare il cranio di 0425 con i dati di riferimento disponibili sulla forma del cranio per un gruppo di una particolare ascendenza.

Per i latino-americani è complicato fare questi confronti; non esistono collezioni convalidate di ossa ispaniche che possano servire da riferimento. La maggior parte dei dati proviene da raccolte di scheletri di americani di origine europea e di afroamericani degli Stati Uniti, della fine del XIX secolo e primi anni del XX secolo. La mancanza di dati fa sì che l'ascendenza degli ispanici spesso rimanga un mistero nelle indagini forensi; nel peggiore dei casi, i tentativi di determinare l'ascendenza possono causare una grande confusione. «I metodi per i bianchi, se applicati a un individuo [maschio] ispanico, di solito forniscono una valutazione di sesso femminile» dice Spradley. «Se il sesso non è giusto, nessuno sarà identificato».

Ma anche se le misure del cranio prese da Spradley avevano rivelato l'ascendenza dei resti numero 0425 come «probabile ispanica», l'indicazione non bastava a stabilire se la donna venisse dal Messico, dal Guatemala, da El Salvador o dal Cile, o, se si fosse trattato per esempio del Messico, se la sua casa si trovasse a Oaxaca o a Veracruz. Inoltre mancava qualsiasi mezzo di classificazione di gruppi etnici o tribali: Maya, Zapotechi, Xinca, Lenca, afrocolombiani e così via. Spradley ha cercato di sopperire all'assenza di dati di riferimento documentando le differenze nella struttura ossea e nei marcatori genetici degli immigrati di origine centro-americana, che nel Texas meridionale rappresentano la maggioranza delle vittime. Sta mettendo assieme i dati raccolti dell'ufficio di patologia legale della contea di Pima, a Tucson, in Arizona sui migranti morti durante l'attraversamento della frontiera di quello Stato, quelli provenieneti da due cimiteri messicani e quelli sulle vittime di violazioni dei diritti umani durante la guerra civile in Guatemala.

Spradley usa queste informazioni per classificare le differenze nella forma e dimensioni dei crani, per esempio, tra messicani e guatemaltechi. Le informazioni confluiscono poi nella Forensic Anthropology Data Bank (FDB), fondata dal relatore di tesi di dottorato di Spradley, Richard Jantz, dell'Università del Tennessee a Knoxville. I dati aiuteranno a stabilire più facilmente da dove hanno iniziato il loro viaggio migranti come il numero 0425.

La conferma del DNA

Completato il profilo biologico, Spradley e la sua équipe hanno cercato di identificare i resti confrontando il profilo con una banca dati di persone scomparse. Spradley ha contattato il Colibrì Center for Human Rights di Tucson, che sta costruendo un ar-

Le ossa conservano i loro segreti

Il gruppo degli antropologi forensi volontari ha identificato solo due degli oltre 110 e più resti scheletrici ritrovati da quando ha iniziato a lavorare al cimitero del Sacro Cuore, nella contea di Brooks, in Texas, nella primavera del 2013. Gli scienziati speravano di fare progressi più velocemente, ma per molti di questi casi la pista per le indagini è ormai fredda: esistono solo pochi frammenti scheletrici, il che rende l'impresa quasi impossibile. A saperlo meglio di tutti è il capo del gruppo, Krista Latham, che dirige il laboratorio di antropologia molecolare dell'Università di Indianapolis, ed è specializzata nel ricostruire l'identità di una persona a partire dai resti scheletrici più degradati e frammentari.

Un caso incontrato dall'équipe forense in Texas dimostra quanto sia complicato questo tipo di impresa. Il 26 dicembre 2011, alcuni operai di una delle fattorie della contea di Brooks, ritrovarono dei resti e li portarono al Sacro Cuore. I resti del caso numero 0402 furono sepolti con un semplice cartellino che diceva «donna sconosciuta». Analisi successive hanno dimostrato che invece si trattava di un maschio. Inoltre, una volta sollevato il coperchio della bara, si trovarono i resti di altre due persone, un'evenienza abbastanza comune. Al momento della sepoltura, la bara era stata girata di 180 gradi, quindi il cartellino non corrispondeva alle ossa che ci erano sepolte. Dentro la bara, c'era solo un pacchettino avvolto in un foglio di plastica bianca. Un'analisi di laboratorio rivelò che solo il 2 per cento dello scheletro del caso numero 0402 era disponibile per un esame forense. Gli scienziati trovarono il cranio, entrambe le ossa iliache (le anche), e il femore sinistro. Mancavano perfino i denti.

La scarsità dei resti del caso 0402 non è insolita. «A volte le ossa non sono riconosciute come tali, e quindi non vengono raccolte, oppure [chi scopre i resti] non si rende conto di quanto gli animali possano disperdere i resti, e quindi non allarga la ricerca a sufficienza», spiega Latham. «Quindi è possibile che i resti [del numero 0402] siano ancora in quella fattoria».

Latham fa un parallelo tra le ricerche di antropologia forense in Cile e quello che sta succedendo in Texas. «Vediamo fenomeni simili alla frontiera. Questi sono gli scomparsi, gli invisibili, i silenti. Nessuno cerca di dar loro una voce, eppure ne hanno diritto». I ricercatori fanno quello che possono, anche se spesso non è abbastanza. Il caso numero 0402 non è ancora stato identificato, e probabilmente non lo sarà mai.

chivio dati su persone scomparse non statunitensi. La banca dati è necessaria perché l'Agenzia nazionale degli Stati Uniti per le persone scomparse (NamUs) ha smesso da tempo di includere informazioni su cittadini stranieri.

Dalla banca dati di Colibrì è emersa una possibile corrispondenza tra il profilo biologico del caso 0425 e la denuncia di una persona scomparsa presentata in Honduras. La famiglia, si è scoperto, aveva inoltrato i dettagli a Colibrì. Le informazioni corrispondevano in alcuni particolari del profilo biologico, compreso il sesso, l'ascendenza, la statura e gli effetti personali. Corrispondeva anche il nome sul documento ritrovato nella scarpa: Maria Albertina Iraheta Guardado.

Ora Spradley aveva bisogno di una conferma. Il direttore di Colibrì, Robin Reineke, suggerì di contattare l'équipe di antropologia forense in Argentina, che si occupa di diritti umani raccogliendo campioni di DNA dai membri delle famiglie di migranti scomparsi, per aiutare a confermare l'identità di chi muore durante il passaggio della frontiera.

Gli esami del DNA vengono effettuati solo dopo aver raccolto un numero di particolari sufficiente a delineare un profilo biologico completo della persona scomparsa. Il laboratorio dello Stato del Texas ha preso un campione dal metatarso e lo ha mandato al laboratorio usato dal gruppo argentino per il confronto con i campioni di DNA dei familiari della donna scomparsa. Corrispondevano. Il 25 aprile 2014 gli scienziati sono finalmente riusciti ad avere la conferma: dal giorno della scoperta dei resti di Iraheta Guardado c'erano voluti due anni per stabilirne l'identità.

Il ritorno

Maria Albertina Iraheta Guardado aveva 37 anni quando decise di lasciare la comunità di Dos Bocas, a Santa Rosa de Aguán, in Honduras, ed emigrare verso il Bronx, per raggiungere sua sorella, che lavora come donna delle pulizie. Voleva mandare soldi a sua madre, per aiutarla a crescere i suoi sei figli. Alcuni sono già adulti, ma due (di 9 e 14 anni) vivono ancora con la madre di Iraheta Guardado.

Secondo la madre e la sorella, con cui ho parlato per telefono, Maria Albertina Iraheta Guardado voleva partire anche a causa della violenza che flagella l'Honduras, che nel 2012 era il paese con la percentuale di omicidi più alta al mondo. Vari anni prima suo marito era stato ucciso da una pallottola vagante durante una sparatoria, dice la madre di Iraheta Guardado, Maria Amelia Guardado. «Come tutti gli altri, in questo paese, semplicemente lo hanno ammazzato, perché questo è quello che succede qui».

La madre è venuta a sapere dall'équipe di antropologia forense argentina che sua figlia aveva attraversato la frontiera vicino a Brownsville, in Texas, il 15 giugno 2012, assieme a un gruppo di altri migranti e a un trafficante di esseri umani. Aveva camminato per due giorni, poi era svenuta e l'avevano lasciata indietro, vicino a Falfurrias.

L'identificazione di Iraheta Guardado ha richiesto l'impegno combinato di antropologi forensi, organizzazioni dei diritti umani, consolati stranieri e forze di polizia. La madre ha aspettato ansiosamente che i resti di sua figlia le fossero restituiti; c'era stato un ritardo, a causa di un pasticcio burocratico sul certificato di morte. Finalmente, all'inizio di aprile del 2015, sono stati restituiti alla famiglia per la sepoltura.

Per il gruppo che è riuscito a identificare Iraheta Guardado, il risultato positivo è stato una vittoria problematica. I ricercatori sono entusiasti del loro successo, che però ha avuto un costo emotivo non indifferente. Quando Latham si preparava a tornare a Falfurrias per altre due settimane di esumazioni, nel giugno 2014, ha scritto nel suo blog: «Non riuscirò a leggere favole [a mio figlio] per 13 notti, e non potrò baciarlo e abbracciarlo per 14 giorni. Ma il pensiero che mi fa andare avanti è che sto lasciando temporaneamente la mia famiglia per poter riunire altre famiglie. Io potrò ancora baciare ed abbracciare mio figlio, ma ci sono centinaia di madri, i cui figli sono sepolti e non identificati al cimitero del Sacro Cuore, che non possono dire lo stesso». ■

PER APPROFONDIRE

Showdown in the Sonoran Desert: Religion, Law, and the Immigration Controversy. Rose A., Oxford University Press, New York, 2012.

Northbound: What Happens after Crossing the Border. Rose A., in «Foreign Affairs», pubblicato on line il 2 luglio 2014.

Who Is Dayani Cristal? García Bernal G. e Silver M., film, 2014. **http://whoisdayanicristal.com.**

Le Scienze S.p.A.

Via Cristoforo Colombo, 98 - 00147 Roma

Codice fiscale, Iscrizione presso il Registro delle Imprese e Partita Iva n. 00882050156

Bilancio al 31 dicembre 2014

(pubblicato a norma dell'art. 1, comma 33, del D.L. 23 ottobre 1996 n. 545 convertito con legge 23 dicembre 1996 n. 650)

Stato Patrimoniale

euro

ATTIVO	31-12-2013	31-12-2014
A - Crediti verso soci per versamenti ancora dovuti	-	-
B - Immobilizzazioni		
I. Immobilizzazioni immateriali		
Concessioni, licenze, marchi e diritti simili	-	-
TOTALE IMMOBILIZZAZIONI IMMATERIALI	-	-
II. Immobilizzazioni materiali		
Impianti e macchinari	-	-
Mobili, dotazioni e automezzi	1.442	361
Altri beni	-	-
TOTALE IMMOBILIZZAZIONI MATERIALI	**1.442**	**361**
III. Immobilizzazioni finanziarie		
Partecipazioni in		
- altre imprese	665	665
Crediti		
- verso altri	8.000	0
TOTALE IMMOBILIZZAZIONI FINANZIARIE	8.665	665
TOTALE IMMOBILIZZAZIONI	**10.108**	**1.027**
C - Attivo circolante		
I. Rimanenze		
Materie prime, sussidiarie, di consumo	159.489	49.670
Prodotti finiti e merci	59.311	59.178
TOTALE RIMANENZE	**218.800**	**108.848**
II. Crediti		
Verso clienti	82.766	115.885
Crediti verso imprese correlate	869.916	652.344
Crediti tributari	744.305	1.136.886
Imposte anticipate	56.678	48.416
Verso altri	39.934	42.452
TOTALE CREDITI	**1.793.600**	**1.995.962**
IV. Disponibilità liquide		
Depositi bancari e postali	1.471.296	2.054.308
Denaro e valori in cassa	120	164
TOTALE DISPONIBILITÀ LIQUIDE	1.471.416	2.054.472
TOTALE ATTIVO CIRCOLANTE	**3.483.816**	**4.159.283**
D - Ratei e risconti		
Altri ratei e risconti attivi	11.801	9.205
TOTALE RATEI E RISCONTI	**11.801**	**9.205**
TOTALE ATTIVO	**3.505.725**	**4.169.514**

euro

PASSIVO	31-12-2013	31-12-2014
A - Patrimonio netto		
I. Capitale	103.400	103.400
II. Riserva sovrapprezzo azioni	-	-
III. Riserve di rivalutazione	-	-
IV. Riserva legale	20.680	20.680
V. Riserve statutarie	-	-
VI. Riserva per azioni proprie in portafoglio	-	-
VII. Altre riserve	-	-
VIII. Utili (perdite) portati a nuovo	10.684	17.080
IX. Utile (perdita) dell'esercizio	213.197	149.880
PATRIMONIO NETTO	**347.960**	**291.041**
B - Fondi per rischi ed oneri		
Fondi per trattamento di quiescenza ed obblighi simili	38.355	4.204
TOTALE FONDI PER RISCHI ED ONERI	**38.355**	**4.204**
C - Trattamento di fine rapporto di lavoro subordinato	**114.561**	**110.169**
D - Debiti		
Debiti verso fornitori	216.913	237.056
Debiti verso imprese correlate	1.263.786	2.304.317
Debiti tributari	36.744	25.437
Debiti verso istituti di previdenza	-	-
e di sicurezza sociale	53.626	54.405
Altri debiti	67.732	71.092
TOTALE DEBITI	**1.638.800**	**2.692.306**
E - Ratei e risconti	**1.366.048**	**1.071.794**
TOTALE PASSIVO	**3.505.725**	**4.169.514**

Conto Economico

euro

	2013	2014
A - Valore della produzione		
Ricavi delle vendite e delle prestazioni	3.575.451	3.321.714
Variazione delle rimanenze di prodotti in corso di lavorazione, semilavorati e finiti	(8.611)	(133)
Altri ricavi e proventi	29.442	151.946
TOTALE VALORE DELLA PRODUZIONE	**3.596.282**	**3.473.526**
B - Costi della produzione		
Per materie prime, sussidiarie, di consumo e di merci	355.632	237.498
Per servizi	2.001.521	1.941.776
Per godimento di beni di terzi	311.735	303.280
Per il personale:		
- Salari e stipendi	375.714	384.682
- Oneri sociali	102.124	108.335
- Trattamento di fine rapporto	29.438	30.191
- Trattamento di quiescenza e simili	-	-
- Altri costi	7.007	8.087
Ammortamenti e svalutazioni:		
- Ammortamenti delle immobilizzazioni immateriali	-	-
- Ammortamenti delle immobilizzazioni materiali	1.081	1.081
Variazione delle rimanenze di materie prime, sussidiarie, di consumo e merci	28.527	109.819
Oneri diversi di gestione	39.202	78.893
TOTALE COSTI DELLA PRODUZIONE	**3.251.982**	**3.203.642**
DIFFERENZA TRA VALORE E COSTI DELLA PRODUZIONE	**344.300**	**269.884**

euro

	2013	2014
C - Proventi ed oneri finanziari		
Altri proventi finanziari		
- Da terzi	15.107	13.633
Utile su cambi	12	-
Altri oneri finanziari		
- Verso terzi	(2.237)	(5.028)
Perdite su cambi	(6)	(54)
TOTALE PROVENTI ED ONERI FINANZIARI	**12.876**	**8.551**
D - Rettifiche di valore di attività finanziarie	**-**	**-**
TOTALE DELLE RETTIFICHE	**-**	**-**
E - Proventi ed oneri straordinari		
Imposte relative a esercizi precedenti	-	-
TOTALE DELLE PARTITE STRAORDINARIE	**-**	**-**
Risultato prima delle imposte	**357.176**	**278.435**
Imposte sul reddito dell'esercizio, correnti, differite e anticipate:		
- Imposte correnti	(164.723)	(120.292)
- Imposte anticipate	20.744	(8.262)
Totale imposte	**(143.979)**	**(128.554)**
UTILE (PERDITA) DELL'ESERCIZIO	**213.197**	**149.880**

Prospetto di dettaglio delle voci del bilancio di esercizio al 31 dicembre 2014

(pubblicato a norma dell'art. 1, comma 33, del D.L. 23 ottobre 1996 n. 545 convertito con legge 23 dicembre 1996 n. 650)

01	Vendita di copie	**3.043.277**
02	Pubblicità	**169.008**
05	Ricavi da editoria on line	**88.128**
06	- Abbonamenti	**-**
07	- Pubblicità	**88.128**
09	Ricavi da altra attività editoriale	**21.301**
	Totale voci 01+02+05+09	**3.321.714**

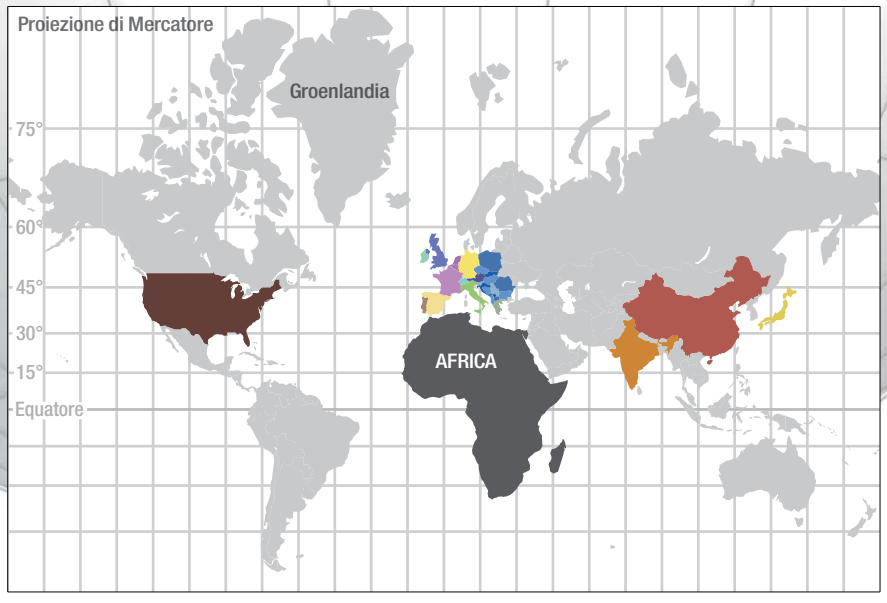
La vera dimensione dell'Africa

La maggior parte delle mappe fa apparire l'Africa molto più piccola di quanto sia in realtà

Quando è mostrata nelle giuste proporzioni, l'Africa inghiotte Cina, India, Stati Uniti continentali e la maggior parte dell'Europa. Pensate al globo mondiale come a una crosta infossata: tirate via le terre emerse e inserite quei pezzi leggermente curvi sull'Africa. E no, né Russia né Canada si avvicinano alla dimensione effettiva.

Su una mappa piatta del mondo, la Groenlandia appare grande quanto l'Africa. In realtà però l'Africa è 14 volte più estesa. La distorsione emerge da un processo matematico, conosciuto come proiezione di Mercatore, che converte la superficie sferica della Terra in un pratico rettangolo bidimensionale. Il risultato è che l'area delle terre emerse diventa sempre più esagerata procedendo verso i poli. L'Africa dovrebbe essere rappresentata più grande rispetto a molti altri grandi paesi presi insieme. Per correggere questa idea sbagliata ma diffusa, Kai Krause, designer informatico, ha ideato un puzzle per mostrare le relazioni reali tra le terre emerse (*sopra*). Avere chiara la dimensione immensa dell'Africa ci aiuta a capire quanto possa essere difficile trovare una soluzione alla povertà e ai problemi di siccità del continente.

Mark Fischetti



Grafica di Bryan Christie e Kai Krause; fonte: Kai Krause

di Rodolfo Clerico, Piero Fabbri e Francesca Ortenzio

Dare i numeri per strada

L'estate è una strana stagione: si fa beffe delle tre consorelle destinate al duro lavoro e si appropria dell'etichetta di vacanziera: così, nell'immaginario collettivo, propri dell'estate sono il dolce far niente, la permanenza in famiglia e il placido oblio di colleghi e capiufficio.

Il quadretto vale per molti, ma non per tutti: Alice, per esempio, aspetta agosto per squagliarsela qualche giorno lontano dai due loschi coinquilini i quali, peraltro, passano così tanto tempo in panciolle anche in autunno-inverno-primavera che sarebbe arduo capire in quale stagione ci si ritrovi se ci si limitasse a calcolare le calorie bruciate dalle loro scarse dotazioni muscolari. E talvolta capita qualche sconvolgimento. Come adesso, quando Alice entra nella casa delle vacanze che Rudy e Piotr avrebbero dovuto rendere accogliente.

«Ma bene! Sono mancata una sola, misera e striminzita settimana ed ecco il risultato! La casa è talmente disordinata che se l'avesse vista Clausius avrebbe cambiato il termine "entropia" con un altro che perpetuasse in eterno i vostri nomi. E ve ne state affranti sul divano come se non sapessi che il vostro unico esercizio fisico è quello di alzarvi dal letto!».

«Miao!», ribadisce furiosa Gaetanagnesi.

Un ipotetico osservatore (prudentemente esterno) si troverebbe di fronte a un gödeliano problema indecidibile: è più arrabbiata la femmina umana, per il disordine ubiquo e trionfante, o la femmina felina, costretta da due ore in un angusto trasportino che solo ora viene aperto?

«Treccia, abbi pietà: quando siamo arrivati in questo ridente borgo, con la scusa che siamo i più matematicamente dotati nel raggio di dieci chilometri, la giunta comunale ci ha invitato a ridipingere i numeri civici delle quattro vie principali. Da soli. Tutti. E non sono vie brevi».

Alice alza scettica un sopracciglio. La gatta vibra scettica una vibrissa.

«Ecco da dove arriva l'odore di vernice fresca. Non che mi piaccia, ma sempre meglio della vostra puzza ascellare. Si può sapere che cosa c'entra la giunta, adesso? E la competenza numerica? Non potevate declinare l'invito?».

Uno sguardo pietoso corre tra i due derelitti sul divano.

«Niente, è che il tachimetro della macchina è digitale...», comincia Piotr.

«... Anche quello dell'autovelox sulla provinciale qua sotto...», aggiunge Rudy.

«... Insomma, secondo la polizia i numeri di tutti tachimetri erano più alti di quelli scritti su quegli strani segnali tondi col bordo rosso...», sospira Piotr.

«... E quei testardi non hanno voluto seguirmi in un ragionamento profondo sulla relatività delle cifre, se le si considerano secondo una base diversa dal solito 10. Per esempio in base 16...».

«No, Rudy, no... Non dirmi che hai davvero provato a rifilare questa storia agli agenti della stradale...».

«Oh, se è per questo, Treccia, l'ha anche ripetuta di fronte a sindaco, assessori, giudice di pace, maresciallo dei carabinieri, farmacista, parroco, postino e barista. Così, la multa per aver superato di sette chilometri all'ora il limite di velocità si è trasformata presto in un'ingiunzione municipale, una diffida permanente, una predica pastorale e una denuncia per oltraggio alla corte. Per fortuna l'assessore alla viabilità è un tipo spiritoso, e visto che a nostro dire tutto si reggeva sulle qualità opinabili delle cifre, ha proposto alle altre autorità di farci cambiare colore alle cifre delle strade. Poteva andarci molto peggio...».

Illustrazione di Stefano Fabbri

Alice si lascia cadere sulla poltrona.

«Birra per me, crocchette per la micia. Non posso ancora credere a quanto ho sentito, e di sicuro lo stesso vale per Gaetanagnesi. Ci sarà almeno un goccio di birra, in frigo, no? O ve l'hanno pignorata perché avete provato a non pagare le tasse comunali appellandovi all'assioma della scelta?».

«No, tranquilla. Birra a fiumi, di marche diverse; anche croccantini per gatte stizzose, e patatine, salatini, tonno in scatola, chinotti ghiacciati, pasta di ogni forma e barattoli di salsa a volontà».

«Dovrei dirvi "bravi, vi siete ricordati della spesa"; ma sono sicura che sarebbe una constatazione troppo banale, con tipi come voi. Giusto?».

La soluzione del problema esposto in queste pagine sarà pubblicata in forma breve a settembre e in forma estesa sul nostro sito: www.lescienze.it.
Potete mandare le vostre risposte all'indirizzo e-mail: rudi@lescienze.it.

Ridipingere i civici del paese delle vacanze è il compito impartito a Rudy e Piotr per aver superato i limiti di velocità

IL PROBLEMA DI LUGLIO

Il mese scorso, stringendo all'osso matematico, si argomentava su come procedere alla smussatura di angoli di poligoni regolari massimizzandone il rapporto area/perimetro. Come al solito, quando si tratta di massimizzare o minimizzare, bisogna rassegnarsi a calcolare qualche derivata. Un poligono regolare ha rapporto area/perimetro pari a un quarto della cotangente ($\cot\alpha/4$) dell'angolo al centro α che sottende il lato.
Infatti un poligono regolare di n lati unitari ha perimetro n e superficie $(n/4)\cot\alpha$, se ricordate che il caro vecchio apotema delle scuole elementari altro non è che ½ $\cot\alpha$. Smussare i vertici del poligono con archi di cerchio di raggio r significa ottenere un poligono arrotondato di perimetro $n\text{-}2r(n\tan\alpha\text{-}\pi)$ e superficie $(n/4)\cot\alpha\text{-}r^2(n\tan\alpha\text{-}\pi)$: occorre quindi fare il rapporto delle due grandezze, calcolarne la derivata, porla a zero e constatare che si avrà un massimo per

$$r = \frac{1-\sqrt{\alpha\cot\alpha}}{2\,(\tan\alpha-\alpha)}$$

«In effetti...», biascica Piotr.

«Suvvia, Alice! Sai che cosa vuol dire dipingere centinaia di numeri civici?», chiosa Rudy.

«Farsi un sacco di amici tra i vicini?».

«Anche: ma soprattutto frequentare un sacco di negozi e rivendite, che i numeri civici ce li hanno anche loro. Pitturavamo, pitturavamo, ma ogni volta che arrivava a un libreria Doc si tuffava dentro. E lo stesso faceva con le pasticcerie, i negozi di alimentari, le ferramenta, e...».

«Vogliamo parlare di che cosa succedeva quando tu incocciavi in un'enoteca? O un pub? O un tabaccaio ben fornito di pipe?».

«Piantatela. Ho capito, avete passato il vostro tempo per negozi, spendendo un patrimonio, e negli intervalli dipingevate i numeri civici. Vi siete divisi equamente il lavoro, almeno?».

«Se ne avessi la forza, sarebbe un ottimo argomento per litigare: Doc è una piaga, una lumaca... Anche se, in tutte le vie, ciascuno di noi ha dipinto la stessa quantità di numeri civici».

«Una cosa equa, allora...».

«Ho detto "numeri", Treccia: non "cifre". Doc ha sempre iniziato dall'uno, io dalla fine della strada! Una via alla volta, pitturavamo tutti i numeri in sequenza, anche se questo implicava fare un sacco di attraversamenti. Terminato l'uno, Doc passava al due, poi al tre, eccetera: io partivo dall'ultimo, passavo al penultimo, al terzultimo, e così via. Incontrarsi significava anche aver finito il lavoro».

«Uno dei rari casi in cui sarete state contenti di trovarvi faccia a faccia...».

«Con quel bradipo incostante? Mah... Doc procedeva a velocità diverse per ogni via: tutto dipendeva dai negozi che incontrava. Era comunque sempre più lento del sottoscritto: nella prima via, ad alta densità di librerie, nel tempo in cui lui imbrattava due cifre io riuscivo a tracciarne tre; nella seconda via, densa di pizzicagnoli (meno attraenti delle librerie, ma con un fascino considerevole, agli occhi del mollusco), a tre sue cifre ne corrispondevano quattro mie, mentre nella penultima via il ritmo era di quattro cifre di Doc per cinque cifre mie».

«Treccia, dovevo solo scaldarmi: all'ultima via l'avevo quasi raggiunto, sono arrivato a cinque cifre contro sei».

«Dev'essere stato uno spettacolo, vedervi sudare, una volta tanto. Sarete stati contenti che in questo villaggio non ho mai visto numerazioni perverse tipo "38bis", "14ter interno B", o cose del genere...».

«Sì, dobbiamo riconoscere al borgo una certa etica numerica: tutti numeri semplici e interi, e senza salti quantici. Però io speravo che almeno qualche via superasse il civico "1000", per far faticare un po' di più quel saccente di Rudy...

«Non lamentarti, lumaca bavosa: avrai certo notato che nessuna delle quattro è finita prima del civico 200. Questo non ti pare abbastanza?».

«Beh – dice Alice alzandosi dalla poltrona – non posso dire che sia una scusante buona per aver lasciato questo disastro in casa, ma quantomeno sapervi impegnati a sudare nei pomeriggi estivi mi ha rallegrato. Alla fine, poi, a quante case avete rinnovato il look del civico?».

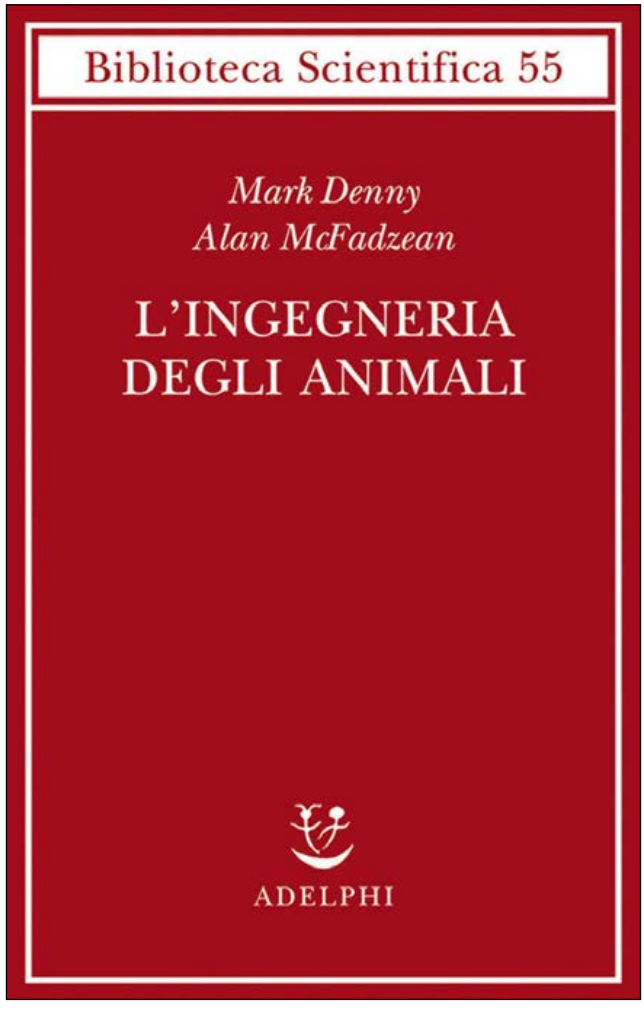
Prima che Doc risponda, Rudy lo zittisce con un'occhiata.

«Noi abbiamo allenato i muscoli, Alice: non ti pare il caso di allenare un po' le tue tre meningi impigrite dalla settimana lontana da noi? Che domanda sarebbe, la tua? Sei ampiamente in grado di scoprirlo da sola...».

Rudy sorride, Piotr sogghigna. Alice sospira: «Dannazione, sono proprio fuori allenamento: prima della vacanza l'avrei di sicuro subodorata al volo, la fregatura del quiz a tradimento...».

Come funziona la vita

L'ingegneria degli animali
di di Mark Denny e Alan McFadzean
Adelphi, Milano, 2015, pp. 408 (euro 36,00)



Prendi due ingegneri, uno aerospaziale e l'altro esperto di problemi energetici, e fatti spiegare il mondo degli esseri viventi e le sue leggi. Il risultato è uno straordinario e divertente viaggio «da *nerd*» nella natura, che ci fa scoprire quanto, dai batteri agli *Homo sapiens*, siamo tutti opere di ingegneria, e come le leggi fisiche hanno plasmato l'evoluzione del vivente sul nostro pianeta. Il libro è dedicato per una metà alle strutture, dagli scheletri ai gusci, e al movimento, per l'altra metà alla rilevazione a distanza, dal ruolo degli organi di senso ai sonar fino alla comunicazione tra animali.

Vi immaginate i capogiri di una giraffa che risolleva velocemente la testa? E i rischi di una pressione sanguigna che nelle gambe raggiunge anche i 500 mmHg? Considerate che quella umana in condizioni normali è di 120 mmHg. Grazie a una rete di vasi ispessiti e a un sofisticato sistema di regolazione della pressione, che non è ancora neppure stato compreso fino in fondo, le giraffe evitano conseguenze che per altri animali sarebbero fatali.

D'altronde noi *Homo sapiens* siamo dei mezzi miracolati con la nostra incerta postura eretta. I nostri due nerd ci illustrano con un modellino meccanico di un pendolo capovolto (con il perno montato su un carrello) come riusciamo a stare in piedi grazie a un meccanismo di retroazione. Da qui ci conducono a confrontare la nostra andatura con quella di altri animali usando parametri come il numero di Froude, che segna in cifre la transizione dal passo al trotto o al galoppo. E a proposito di movimento, è impressionante scoprire quanto sia efficiente il consumo di energia, grazie ad adattamenti come la pelle dello squalo che minimizza la resistenza idrodinamica o in virtù delle andature (un cavallo cambia dal passo al trotto e poi al galoppo perché raggiunta una certa velocità la nuova andatura consente di consumare meno energia). Quell'energia che invece si trasmette in maniera molto inefficiente da un livello trofico all'altro, secondo la cosiddetta regola del dieci per cento: dal Sole alle piante e poi agli erbivori fino ai carnivori solo una parte su dieci dell'energia è usata. Una regola che contribuisce a disegnare la densità di popolazione nei diversi ecosistemi.

A prima vista potrebbe sembrare un approccio troppo riduzionista, ma quando i due autori invitano a considerare gli animali come macchine, analizzando gli algoritmi di comando e controllo che ne guidano i comportamenti, con l'obiettivo di perseguire nutrimento, sicurezza e sesso (un vero mantra che ricorre lungo tutto il libro), fanno comprendere come comportamenti complessi, inizialmente assai difficili da studiare, emergono come frutto dell'interazione di regole semplici. Un caso ormai classico sono gli scarafaggi, divenuti modello di robot autonomi molto studiati in anni recenti.

Non si può che provare meraviglia nel vedere meccanismi affinati dall'evoluzione come l'ecolocalizzazione usata da pipistrelli, balene ed esemplari di delfini che possono vantare biosonar di gran lunga più raffinati dei migliori strumenti umani, oppure gli indicatori usati dagli uccelli per la navigazione nei loro lunghi percorsi migratori, dalle stelle al magnetismo terrestre agli infrasuoni prodotti dai profili topografici.

Quello che rende piena di interesse e godibile la lettura di questo libro è un giusto equilibrio tra l'esibizione intelligente e quasi orgogliosa dello sguardo degli ingegneri sulla natura, un umorismo lieve che attraversa le pagine, la trovata di animali immaginari come il *Cubus ridiculus* (animaletto a forma di cubo ideato per ragionare sulla dispersione del calore in rapporto a superficie e volume), oppure caprelli e lupocani, cyberanimali usati per capire le dinamiche della caccia in cooperazione, e poi un'accorta introduzione ai contenuti scientifici, per esempio con l'uso di brevi paragrafi sull'ottica o sull'acustica. In ultimo ma non per ultimo, l'ottima traduzione di Gabriele Castellari concorre a fare di questo libro un efficace compendio delle regole che guidano la natura e un invito a osservarla con la curiosità di un ragazzo che vuole scoprire come funziona la vita.

Marco Motta

L'evoluzione del pensiero scientifico, dal Paleolitico a oggi

Stelle, atomi e velieri
di Lucio Russo
Mondadori Università, Milano, 2015,
pp. 248 (euro 19,00)

Lo scrittore Italo Calvino diceva che quello che conta di un autore sono le opere. E Lucio Russo – fisico, filologo e storico della scienza – in questo, conta. *Stelle, atomi e velieri* esaurisce l'argomento dell'evoluzione del pensiero scientifico, partendo dal Paleolitico, quando nascono le prime culture, per arrivare fino ai giorni nostri. Diviso tra referenzialità accademica nella descrizione dei particolari e autoriflessione sui fatti storici, il saggio è un *excursus* contro i modi comuni di pensare che si autoalimentano, come «le bolle speculative dei mercati finanziari».

Non è un caso che la scienza sia nata nella civiltà greca, in cui le tecniche di navigazione erano fondamentali per l'economia. Basti ricordare che il settore che ha dato maggiori stimoli allo sviluppo scientifico, più della tecnologia militare, prima della rivoluzione industriale, è la nautica. Geometria, trigonometria sferica, geografia matematica, cartografia, catottrica, idrostatica e magnetismo sono i precursori dei velieri. Senza lo studio di queste materie, i mari sarebbero rimasti distese d'acqua inaccessibili, e noi esuli – e magari già estinti – sulla terra ferma. Lo sguardo verso le stelle ha generato una rivoluzione epocale: il passaggio da un universo racchiuso in un guscio sferico, di cui occuperemmo la posizione centrale, all'idea di un cosmo infinito, in cui la Terra non ha un ruolo privilegiato. Per osservare poi che la realtà percepibile «è formata da oggetti mutevoli, destinati alla disgregazione, per mezzo di entità indivisibili (ossia atomi), eterne e immutabili, e invisibili per la loro piccolezza», come la struttura del sistema nervoso, da cui nasce il pensiero.

Cristina Bellon

Perché dobbiamo tornare a esplorare lo spazio

Oro dagli asteroidi e asparagi da Marte
di Giovanni Bignami e Andrea Sommariva
Mondadori, Milano, 2015,
pp. 170 (euro 16,00)

Lo stesso anno dell'approdo sulla Luna, il padre del progetto Apollo, Wernher Von Braun, proponeva già un'altra meta: portare l'uomo su Marte. Ma il Congresso degli Stati Uniti lo bocciò perché, vinta la gara con i sovietici, la spesa non era più giustificata. Oggi però le cose sono cambiate: è il momento di riprendere l'esplorazione umana dello spazio, e iniziare a colonizzarlo. Così argomentano Giovanni Bignami, presidente dell'Istituto nazionale di astrofisica, e Andrea Sommariva, economista esperto di spazio, che analizzano non solo le sfide tecnologiche – già pienamente affrontabili almeno per le tappe iniziali – ma soprattutto la fattibilità e i benefici politico-sociali ed economici, senza cui le missioni umane non decolleranno.

La prima tappa saranno gli asteroidi, forse a breve (negli Stati Uniti già si discute un Asteroid Act). Imparando a sfruttare queste ricche miniere extraterrestri si alimenterà un'economia spaziale, analizzata con dovizia di calcoli e tabelle, creando gli avamposti logistici e il quadro legale per le tappe successive: colonie su Marte, il resto del sistema solare e oltre. Qui i conti economici sull'oro degli asteroidi lasciano il posto a considerazioni fascinose sui futuribili motori ad antimateria o su come piegare lo spazio-tempo; ma prima o poi dovremo arrivarci, se vogliamo sopravvivere alla fine del Sole. Nell'immediato però, al di là dei ricavi diretti, la nuova corsa all'oro porterà trasformazioni di più ampio respiro. Una scossa scientifica e tecnologica, come quella scaturita dalla gara per la Luna. E forse una scossa culturale: come accadde con la scoperta delle Americhe, la nuova frontiera ci farà rinnovare concetti ormai inadeguati come gli stati-nazione e trasformerà per sempre i nostri orizzonti.

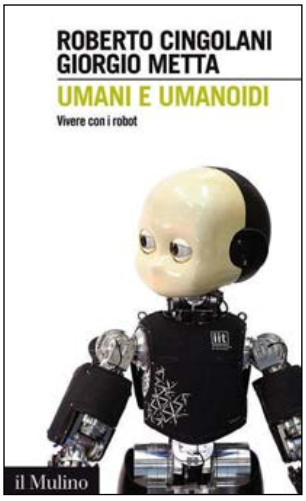
Giovanni Sabato

Il rapporto tra responsabilità e creatività

Il concetto di responsabilità è il filo conduttore del Festival della Mente, evento che si tiene a Sarzana dal 4 al 6 settembre. Quello del comune in provincia di La Spezia è un appuntamento consolidato nel panorama degli eventi culturali italiani che comunicano la scienza, come consolidato è lo sguardo sulla realtà. «In un paese in cui è sempre colpa di qualcun altro, abbiamo pensato che il concetto di responsabilità dovesse essere ridefinito anche alla luce dei

complessi cambiamenti sociali in corso e delle innovazioni scientifiche e tecnologiche», spiegano i due direttori Gustavo Pietropolli Charmet e Benedetta Marietti. «Quale rapporto c'è tra creatività e responsabilità? E a quali nuove responsabilità sono chiamati scienziati, artisti e intellettuali?». Sono domande a cui si cercherà di rispondere nei 60 tra approfondimenti e spettacoli del festival. Tra gli ospiti segnaliamo il linguista Andrea Moro, che presenterà la sua recente ricerca sul linguaggio umano, il logico matematico Carlo Toffalori, che parlerà di matematica e libertà, il fisico britannico Jim Al-Khalili, che illustrerà il nuovo campo di studi della biologia quantistica, il genetista Guido Barbujani, che parlerà della nostra specie. (*cb*)

Cortesia Ufficio stampa Delos



Umani e umanoidi. Vivere con i robot
di Roberto Cingolani e Giorgio Metta
il Mulino, Bologna, 2015,
pp. 184 (euro 15,00)

I robot sono tra di noi e ci resteranno a lungo

Il ritorno al cinema di Arnold Schwarzenegger nei panni del T-800 proveniente dal futuro per la quinta pellicola della serie di *Terminator* è solo l'ultimo anello di una lunga storia di cinema ispirato ai robot. Oltre alle macchine ribelli del film di James Cameron o della saga di *Matrix*, ci sono stati capolavori del muto come *Metropolis* di Fritz Lang, i robot-droidi amici dell'uomo di *Guerre Stellari*, quelli romantici di *Corto Circuito* o di *Wall-E* e quelli interfacciati direttamente con l'uomo del recente *Pacific Rim*. Questo, solo pensando a Hollywood, ma se allargassimo lo sguardo all'Oriente e alla letteratura di fantascienza, l'elenco delle diverse sfumature con cui l'umanità ha pensato artisticamente ai robot sarebbe lunghissimo.

Se però nel caso dei robot l'immaginario collettivo, quello spazio in cui arte e letteratura hanno dato voce ai timori dell'uomo, è così pervasivo, non significa che tutte le paure siano fondate. Lo pensano gli autori Roberto Cingolani, direttore dell'Istituto italiano di tecnologia di Genova, e Giorgio Metta, uno dei fondatori dell'iCub Facility, la casa del famoso robot che fa anche da copertina al volume, che dedicano un capitolo alla roboetica, la disciplina che si interroga su limiti e problematiche del rapporto tra uomo e aiutanti meccanici. Lo scenario dei robot ribelli che violano le tre leggi della robotica ipotizzate da Isaac Asimov, e possono quindi arrecare danno ai propri creatori, non è immaginabile perché gli umanoidi costruiti dall'uomo non provano sentimenti o emozioni. Ma il lato più interessante è il secondo cardine attorno a cui ruota il libro. La popolazione mondiale invecchia sempre più, con un ricambio generazionale ridotto, con una crescente richiesta di assistenza a fronte di una disponibilità di assistenti umani sempre più bassa. Qui, suggeriscono Cingolani e Metta, potrà intervenire la robotica, quindi pensare a un futuro senza sfruttarne le potenzialità sarebbe sciocco.

Intanto, i robot sono già tra noi e ci aiutano in compiti complessi con grande facilità, com'è avvenuto nel campo dell'automazione industriale o con i robot chirurghi. Chi pensa di impedirne lo sviluppo per quei timori infondati del grande schermo, sottolineano gli autori, è disposto rinunciare alle opportunità, anche economiche, offerte dalla tecnologia? Le paure di coloro che accusano i robot di «innaturalità» li fanno somigliare a quegli intellettuali che, in epoca vittoriana, accusavano il treno a vapore di «distruggere la campagna» inglese e la società contadina. Un secolo e mezzo dopo ci fanno sorridere.

Marco Boscolo

Eugenetica senza tabù
di Francesco Cassata
Einaudi, Torino, 2015,
pp. 130 (euro 11,00)

La storia complessa e l'attualità dell'eugenetica

«L'eugenetica non è soltanto Madison Grant o Josef Mengele, ma anche Lionel S. Penrose; non è soltanto la sterilizzazione forzata, ma anche le campagne antitalassemia o la prevenzione della fenilchetonuria. Chiunque decida di far uso della parola "eugenetica", deve quindi ricordarsi di precisarne il significato, esplicitando a quale modello di eugenetica fa riferimento.» Nel dibattito pubblico italiano attorno a temi bioetici invariabilmente spunta un riferimento alle «derive eugenetiche». Per esempio, è capitato più volte nel dibattito sulla Legge 40 sulla fecondazione assistita di sentire che tecniche come la diagnosi preimpianto avrebbero spalancato le porte alla possibilità di selezionare geneticamente un (supposto) figlio perfetto, riesumando fantasmi del passato.

Quali fantasmi? Naturalmente quelli del nazismo. Una persistente nazificazione dell'eugenetica associa questa parola negli ultimi decenni alle pratiche della medicina nazista, qualificandola di principio come pseudoscienza. La storia dell'eugenetica però è molto più complessa e il merito di Francesco Cassata è di rimettere ordine da un punto di vista storiografico su genesi e sviluppo dell'eugenetica nel corso del Novecento. Un contributo importante per porre su basi solide il futuro del dibattito pubblico attorno alle nuove opportunità offerte dalla biomedicina.

Cassata ricostruisce il paesaggio ideologico, accademico e sociale della Germania al tempo del nazismo, e il ruolo attivo dei medici e di figure come il premio Nobel francese Alexis Carrel nella definizione del programma di ingegneria biologico-razziale del regime nazista (ma anche la «bonifica umana razionale» propugnata dall'endocrinologo Nicola Pende nell'Italia fascista), e sullo sfondo il movimento internazionale che porta alle campagne di sterilizzazione negli Stati Uniti e nei paesi scandinavi.

Ma la parte più utile per riequilibrare il nostro immaginario è quella in cui Cassata dimostra che il discorso sull'eugenetica non si chiude con lo stigma dell'epoca nazista, ma va incontro a una ridefinizione negli anni cinquanta e sessanta, quando avanzamento della medicina e tecniche di diagnosi precoce rendono possibile prevenire il diffondersi di malattie ereditarie come fenilchetonuria o talassemia. Un nuovo paradigma di eugenetica si fa avanti, liberato dal marchio della coercizione e trova nella consulenza genetica uno strumento per un'alleanza consapevole tra medicina e società per accrescere il benessere della popolazione. Da Darwin fino alla brevettabilità dei geni, questo libro regala idee e parole per ragionare bene sul potere trasformativo della medicina contemporanea.

Marco Motta

Uno sguardo alla Terra

Una mostra dell'Agenzia spaziale italiana e dell'Agenzia spaziale europea racconta il nostro pianeta con le immagini scattate da satelliti in orbita

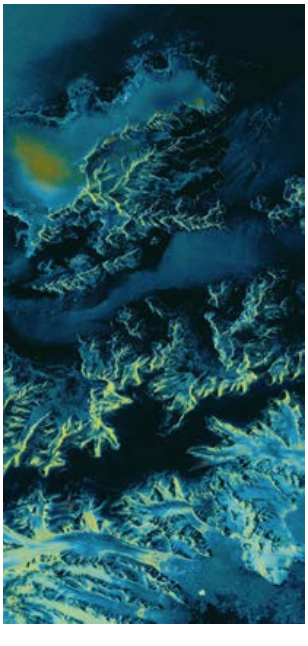
Nel metodo scientifico, l'osservazione ricopre un ruolo centrale. È, per così dire, l'attività che fornisce ai ricercatori che indagano la natura gli ingredienti per poter formulare ipotesi e previsioni. Un ruolo che nel libro *Riflessioni sulla condotta della vita*, il premio Nobel Alexis Carrel descriveva così: «Poca osservazione e molto ragionamento conducono all'errore. Molta osservazione e poco ragionamento conducono alla verità».

Se osservare è fondamentale per la scienza, poter contare su più punti di vista è altrettanto importante. Una mostra come *Il mio pianeta dall'alto – Fragilità e bellezza*, progettata e organizzata dall'Agenzia spaziale italiana e dall'Agenzia spaziale europea, assolve al doppio scopo di mostrare come gli scienziati acquisiscono informazioni e dati sulla Terra e di farci vedere casa nostra da una prospettiva che solo gli astronauti possono sperimentare direttamente.

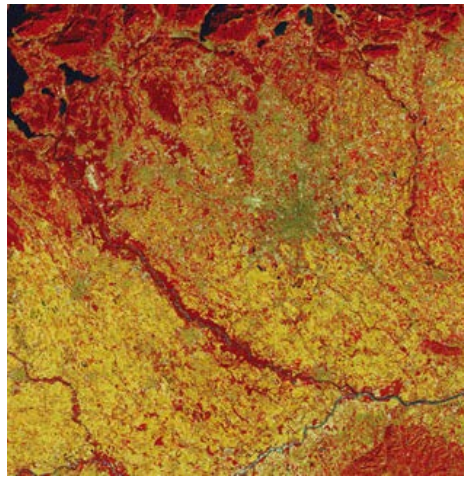
Oggi, per osservare il nostro pianeta, abbiamo a disposizione una batteria enorme di satelliti, capaci di vedere e registrare dall'alto le variazioni della superficie terrestre e contemporaneamente produrre immagini anche dal forte impatto comunicativo. Satelliti che ci mostrano come la Terra si stia trasformando per gli effetti del cambiamento climatico, per esempio la calotte di ghiaccio polare che si stanno restringendo con importanti effetti sull'equilibrio del clima. Satelliti che ci permettono di monitorare quasi in tempo reale quanta foresta scompare dalla faccia della Terra: ogni anno si tratta di una superficie di 50.000 chilometri quadri, l'equivalente di Lombardia e Piemonte insieme. Con la foresta se ne vanno specie animali e vegetali ancora sconosciute, spesso per fare spazio a terreni agricoli. Per fortuna ci sono anche satelliti che permettono di studiare al meglio i terreni, classificandoli e analizzandoli, oltre che tenere traccia dei cambiamenti. Sono un grande aiuto nella grande sfida di produrre cibo in quantità sufficiente senza che gli impatti compromettano il futuro del pianeta.

Lo sguardo della mostra, dopo le immagini dell'acqua e del ghiaccio, delle foreste e delle città, si posa quindi sulle città. Perché nel mondo, dal 2007, gli abitanti delle aree urbane hanno superato quelli delle aree rurali e ci sono oltre 30 aree metropolitane che contano più di dieci milioni di abitanti. Guardare dall'alto queste realtà ci aiuta a pianificare lo sviluppo, cercando di minimizzare l'impatto ambientale e massimizzando i vantaggi per l'uomo.

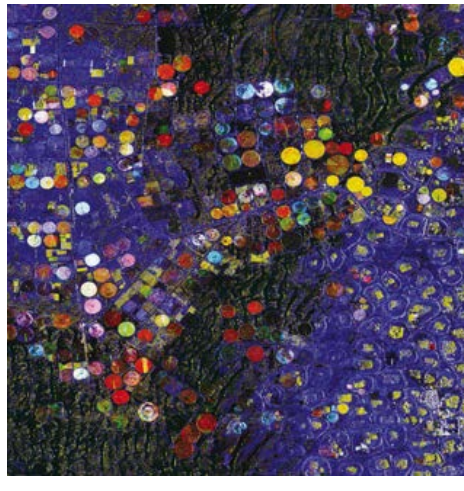
Marco Boscolo



Cortesia ESA (*pianura padana e Antartide*); cortesia USGS/ESA (*Amazonia e Canada*); cortesia ASI/distribuito e processato da e-Geos (*oasi algerina*)



Da satellite. Sopra, Milano e pianura padana. In basso, da sinistra a destra: Antartide, deforestazione in Amazonia, sabbie bituminose nel Canada. Sotto: oasi nel deserto algerino.



Dove & quando:

Il mio pianeta dall'alto – Fragilità e bellezza
fino al 10 gennaio 2016
Museo nazionale della scienza e della tecnologia «Leonardo da Vinci»
Via San Vittore 21, Milano
www.museoscienza.org

di Paolo Attivissimo
Giornalista informatico e studioso della disinformazione nei media

La schiuma da barba di Occam

Il famoso principio – quasi sempre attribuito erroneamente – va usato con cura

Il rasoio di Occam è un principio citatissimo, specialmente nelle discussioni sulle tesi di complotto o le pseudoscienze, in genere nella forma «la spiegazione più semplice è quella giusta». I più forbiti la brandiscono in latino, esclamando «*Entia non sunt multiplicanda praeter necessitatem!*», perché qualunque cosa detta in latino è più autorevole e tronca il dibattito. Ma entrambe le formulazioni sono sbagliate, e probabilmente farebbero inorridire il frate francescano e filosofo William, nato intorno al 1285 a Ockham, nella contea inglese del Surrey, al quale vengono attribuite. Quella latina, infatti, non è sua, ma fu coniata dal teologo John Punch quattro secoli dopo (William scrisse *numquam ponenda est pluralitas sine necessitate*, ossia «mai postulare una pluralità senza necessità»). Quella italiana, invece, è una drastica riscrittura che inciampa su un problema fondamentale: che cosa si intende per «semplice»?

Per esempio, un complottista che sostiene che non siamo mai andati sulla Luna può brandire il rasoio di Occam e argomentare che la sua tesi che fu tutto simulato in un set cinematografico segreto è di gran lunga più semplice dell'idea di costruire razzi enormi, attraversare 400.000 chilometri di abisso cosmico e tornare a casa sani e salvi, usando oltretutto la tecnologia primitiva di cinquant'anni fa. Oppure un ufologo, di fronte ai cerchi nel grano, osserva che è più semplice dire «li fanno gli alieni» che spiegare come farebbero gli artisti a farli così perfetti, nel buio della notte, senza lasciare tracce del loro ingresso nel campo e senza essere visti. Dibattito vinto.

Attribuire agli alieni l'esecuzione dei cerchi nel grano può sembrare la spiegazione più semplice, ma in effetti nasconde enormi complessità.

Jason Hawkes/Corbis

Ma l'errore di chi invoca Occam in questo modo è che il suo rasoio filosofico non è una legge di natura e non ha priorità sui fatti, sulla logica e sul metodo scientifico: è semplicemente un principio che invita a evitare le ipotesi troppo campate per aria. A volte la natura è invece dannatamente complicata, come dimostrato per esempio dalla fisica moderna o dalla genetica, e Occam e i suoi fan si devono mettere il cuore in pace.

Inoltre nei confronti fra scienza e visioni alternative bisogna fare attenzione alla falsa semplicità: sembra semplice dire che i cerchi nel grano sono fatti dagli alieni, ma in realtà questa spiegazione nasconde enormi complessità. Come li fanno? Come arrivano e partono senza farsi notare? Perché all'inizio del fenomeno li facevano semplici e ora li fanno complicatissimi? E perché soltanto nel grano? Ha senso postulare un'intera civiltà aliena ossessionata dai cereali per giustificare un fenomeno perfettamente realizzabile da un gruppo di persone con corde e assi di legno? Eccetera, eccetera. E per lo sbarco sulla Luna, come sarebbe stato possibile, con gli effetti speciali degli anni sessanta, simulare la luce così caratteristica delle immagini dallo spazio, la gravità ridotta e l'assenza di atmosfera così bene da ingannare gli esperti e gli astronauti anche a distanza di mezzo secolo? Con che tecnica sarebbero stati falsificati così perfettamente i segnali radio e tv dalla Luna?

Una formulazione più corretta del rasoio di Occam applicato al campo scientifico è che se un fenomeno è descritto da varie teorie che hanno lo stesso potere esplicativo e predittivo, allora è opportuno adottare la teoria che comporta meno complicazioni. Ma non perché è sicuramente vera: perché è più pratica. È un modello parsimonioso della realtà.

Per esempio, la relatività einsteiniana è più complessa della fisica newtoniana, ma su scala astronomica offre un modello che spiega e prevede meglio e di più, e quindi la sua maggiore complessità è accettabile, perché fornisce prestazioni decisamente migliori. Come i rasoi veri, insomma, anche quello di Occam va maneggiato con consapevolezza per non farsi del male da soli.

di Dario Bressanini
chimico, divulgatore interessato all'esplorazione scientifica del cibo.
Autore di *Pane e Bugie, OGM tra leggende e realtà* e *Le bugie nel carrello*.

I genitori di aranci e limoni

Quasi tutti gli agrumi coltivati nel mondo sono il risultato di incroci tra tre specie

Gli agrumi, una famiglia (dal punto di vista botanico il genere *Citrus*) che comprende arance amare, arance dolci, cedri, mandarini, clementine, pompelmi, limoni e via dicendo, sono coltivati da almeno 4000 anni, e una serie di incroci successivi hanno generato circa 25 specie diverse. Di solito associamo arance e limoni al sole delle nostre regioni meridionali, ma forse stupirà qualche lettore scoprire che la domesticazione degli agrumi è iniziata migliaia di anni fa in Asia. La genealogia di questi frutti è rimasta per lungo tempo misteriosa, fino a quando il recente sequenziamento del genoma di alcuni agrumi ha permesso di ricostruirne i complessi rapporti di parentela.

Quasi tutti gli agrumi coltivati al mondo sono il risultato di incroci di sole tre specie: cedro, mandarino e pomelo. Il cedro (*Citrus medica*) è stato forse il primo agrume a raggiungere l'Europa. Originato forse in India, è coltivato nel Sudest asiatico da migliaia di anni. Usato per il suo aroma, era l'unico agrume diffuso in epoca romana, e fu Plinio a chiamarlo *citrus*. In commercio oggi si trovano molte specie differenti di mandarini: comunemente si intendono con questo termine frutti piccoli, dolci e facilmente pelabili.

Il progenitore di tutti, originario della Cina, è *Citrus reticolata*. Il terzo capostipite è il pomelo o pummelo. Sembra un grande pompelmo, largo fino a 30 centimetri di diametro, ma con una forma a pera e con moltissimo albedo, cioè la parte spugnosa bianca non commestibile. È nativo del Sudest asiatico, ed è arrivato in Italia nel Settecento grazie al capitano britannico Shaddock, che lo esportò anche in Giamaica. In Liguria questo agrume è per questo motivo chiamato *sciaddocco*. Tutti gli altri agrumi coltivati sono risultati di incroci. Quello più importante, dal punto di vista economico, è l'arancio dolce (*Citrus sinensis*). Non esiste allo stato selvatico perché è il risultato di un incrocio, probabilmente avvenuto 4000 anni fa, tra mandarino e pomelo. Non sappiamo se l'incrocio sia avvenuto casualmente o se sia stato guidato dall'uomo, ma quel nuovo frutto dolce e succoso è stato immediatamente notato, diffuso e coltivato e, forse, ulteriormente reincrociato con il mandarino.

Anche l'arancio amaro (*Citrus aurantium*), detto anche arancio di Siviglia, è un incrocio tra il mandarino e il pomelo. Introdotto in Italia nel Medioevo, con il nome di melangolo, si usava per aromatizzare carne o pesce. Oggi il suo uso è limitato a bevande, marmellate o prodotti affini. Questi due aranci sono a loro volta i progenitori di altri agrumi ottenuti per incroci successivi. L'arancio amaro si è incrociato con il cedro, probabilmente tra il nord-ovest dell'India e il sud della Cina, e ha generato il limone (*Citrus limon*). Portato dagli Arabi in Sicilia, le prime coltivazioni risalgono al basso Medioevo. Cristoforo Colombo lo portò ad Haiti nel suo secondo viaggio e da lì si diffuse nel continente americano.

Non pensiate che gli incroci siano avvenuti solo in tempi lontani. Il pompelmo (*Citrus paradisi*) per esempio, si è originato nelle Barbados nel Settecento con un incrocio tra arancio dolce e pomelo. Ancora più recente, solo di un secolo fa, è l'incrocio casuale avvenuto probabilmente in Algeria tra un mandarino mediterraneo, discendente del mandarino asiatico, e un arancio dolce, che ha generato la clementina (*Citrus clementina*). L'origine del chinotto (*Citrus myrtifolia*) invece non è ancora stata chiarita ma si pensa sia una mutazione genetica dell'arancio amaro.

La biodiversità degli agrumi è ridotta, visto che sono stati generati da incroci. Avendo chiaro quali hanno generato aranci, limoni, pompelmi e così via, in futuro si potrà creare nuovi incroci con le caratteristiche desiderate di aroma, sapore, forma, colore e così via. Ma anche creare varietà resistenti alle malattie come il *citrus greening*, che sta danneggiando le piantagioni di tutto il mondo.

Biodiversità povera. Le specie di agrumi coltivate oggi a livello globale sono state ottenute con incroci, ecco perché mostrano una biodiversità ridotta.

Denis Debadier/Photononstop/Corbis

Dal lupo al cane

di Virginia Morell

L'antico mistero di come un grosso e pericoloso carnivoro si sia evoluto nel nostro miglior amico mette ancora alla prova gli scienziati. Tuttavia, recenti studi di genetica e un ambizioso progetto potrebbero ora identificare il momento e il luogo esatti dell'addomesticamento del cane, gettando nuova luce su come si è sviluppata in seguito la sua relazione con gli esseri umani.

Più brillante del silicio

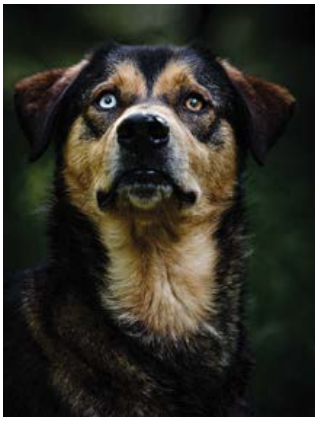
di Varun Sivaram, Samuel D. Stranks e Henry J. Snaith

Prototipi di celle solari realizzati con un materiale cristallino chiamato perovskite si stanno avvicinando agli stessi livelli di efficienza di quelle al silicio. Inoltre, le celle in perovskite sono potenzialmente meno costose e si possono arrotolare come pellicole flessibili, ma la loro produzione presenta ancora vari problemi.

Il mistero del cosmo nascosto

di Bogdan A. Dobrescu e Don Lincoln

La ricerca della materia oscura si è concentrata finora su un'unica particella, che però non è mai stata osservata. Ma la materia oscura potrebbe invece contenere un intero mondo di particelle e forze che interagirebbero pochissimo con la materia ordinaria, formando atomi e molecole oscuri e persino dischi galattici invisibili.



Peter Rigaud (*lupo e cane*); Cortesia NASA/ESA/Julianne Dalcanton, B. F. Williams e L. C. Johnson Università di Washington, Panchromatic Hubble Andromeda Treasury (PHAT) team e Robert Gendler (*Via Lattea*)

LE SCIENZE S.p.A.

Sede legale: Via Cristoforo Colombo 98, 00147 ROMA.

Redazione: tel. 06 49823181
Via Cristoforo Colombo 90, 00147 Roma
e-mail: redazione@lescienze.it
www.lescienze.it

Supervisione editoriale: Daniela Hamaui

Direttore responsabile
Marco Cattaneo

Redazione
Claudia Di Giorgio (*caporedattore*), Giovanna Salvini (*caposervizio grafico*), Cinzia Sgheri, Ale Sordi (*grafico*), Giovanni Spataro

Collaborazione redazionale
Folco Claudi, Gianbruno Guerrerio
Segreteria di redazione: Lucia Realacci
Progetto grafico: Giovanna Salvini

Referente per la pubblicità
A. Manzoni & C. S.p.A.
agente Paolo Bardelli (tel. 02 57494338, 335 6454332)
e-mail pbardelli@manzoni.it

Pubblicità:
A. Manzoni & C. S.p.A.
Via Nervesa 21, 20139, Milano, telefono: (02) 574941

Stampa
Puntoweb, Via Variante di Cancelliera, snc, 00040 Ariccia (RM).

Consiglio di amministrazione
Corrado Corradi (presidente), Michael Keith Florek (vice presidente), Gabriele Acquistapace, Markus Bossle, Stefano Mignanego

Responsabile del trattamento dati (D. lgs. 30 giugno 2003 n.196):
Marco Cattaneo

Registrazione del Tribunale di Milano n. 48/70 del 5 febbraio 1970.
Rivista mensile, pubblicata da Le Scienze S.p.A.
Printed in Italy - luglio 2015

Copyright © 2015 by Le Scienze S.p.A.

ISSN0036-8083

Tutti i diritti sono riservati. Nessuna parte della rivista può essere riprodotta, rielaborata o diffusa senza autorizzazione scritta dell'editore. Si collabora alla rivista solo su invito e non si accettano articoli non richiesti.

SCIENTIFIC AMERICAN

Editor in Chief: Mariette DiChristina; *Executive editor*: Fred Guterl; *Managing Editor*: Ricki L. Rusting; *Board of Editors*: Mark Fischetti, Christine Gorman, Anna Kuchment, Michael Moyer, Gary Stix, Kate Wong, David Biello, Larry Greenemeier, Ferris Jabr, John Matson

President Steven Inchcoombe;
Executive vice president: Michael Florek;
Vice president and associate publisher: Michael Voss;
Design Director, Michael Mrak

Hanno collaborato a questo numero
Per le traduzioni: Benedetta Antonielli: *Una spia nella notte*; Silvia Baldi: *Cellule in fiamme;* Chiara Barattieri: *Le meraviglie del cervello adolescente;* Daniele Gewurz: *Tutta la luce di tutti i tempi;* Lorenzo Lilli: *Nascita di un razzo*; Cristina Serra: *Il nemico della dengue;* Laura Servidei: *Il mistero del caso 0425;* Alfredo Tutino: *Animali in rete.*

Notizie, manoscritti, fotografie, e altri materiali redazionali inviati spontaneamente al giornale non verranno restituiti.

In conformità alle disposizioni contenute nell'articolo 2 comma 2 del «Codice Deontologico relativo al trattamento dei dati personali nell'esercizio dell'attività giornalistica ai sensi dell'Allegato A del Codice in materia di protezione dei dati personali ex d.lgs. 30 giugno 2003 n.196», Le Scienze S.p.A. rende noto che presso la sede di Via Cristoforo Colombo, 90, 00147, Roma esistono banche dati di uso redazionale. Per completezza, si precisa che l'interessato, ai fini dell'esercizio dei diritti riconosciuti dall'articolo 7 e seguenti del d.lgs.196/03 - tra cui, a mero titolo esemplificativo, il diritto di ottenere la conferma dell'esistenza di dati, la indicazione delle modalità di trattamento, la rettifica o l'integrazione dei dati, la cancellazione ed il diritto di opporsi in tutto od in parte al relativo utilizzo - potrà accedere alle suddette banche dati rivolgendosi al Responsabile del trattamento dei dati contenuti nell'archivio sopraindicato presso la Redazione di Le Scienze, Via Cristoforo Colombo, 90, 00147 Roma.

ABBONAMENTI E ARRETRATI
SOMEDIA S.p.A.
Casella Postale 10055 - 20111 Milano
Abbonamenti: abbonamentiscienze@somedia.it
Arretrati e prodotti opzionali: lescienzevendite@somedia.it
Tel. 199.78.72.78 (0864.256266 per chi chiama da telefoni cellulari. Il costo massimo della telefonata da rete fissa è di 14,37 cent di euro al minuto più 6,24 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Per chiamate da rete mobile il costo massimo della chiamata è di 48,4 cent di euro al minuto più 15,62 cent di euro di scatto alla risposta (iva inclusa). Fax 02 26681991.
Abbonamenti aziendali e servizio grandi clienti
Tel. 02 83432422; fax 02 70648237;
mail grandiclienti@somedia.it

Italia

abb. annuale	€ 39,00
abb. biennale	€ 75,00
abb. triennale	€ 99,00
copia arretrata	€ 9,00

Estero

abb. annuale Europa	€ 52,00
abb annuale Resto del Mondo	€ 79,00

Accertamento diffusione stampa certificato n. 7827 del 9/2/2015

Pubblicazione a norma della Legge 5 Agosto 1981 n. 416 e successive modificazioni

A. MANZONI & C. S.p.A.

Sede Legale Via Nervesa, 21 - 20139 Milano

Capitale Sociale Euro 15.000.000,00 i.v. - Socio Unico - Partita Iva/Codice Fiscale/Iscrizione nel Registro delle Imprese di Milano n° 04705810150
REA di Milano n° 1031852 Direzione e Coordinamento Gruppo Editoriale L'Espresso S.p.A.

BILANCIO REDATTO IN BASE AI PRINCIPI CONTABILI INTERNAZIONALI IAS/IFRS AI SENSI DEL D.LGS. 38 DEL 28 FEBBRAIO 2005

SITUAZIONE PATRIMONIALE - FINANZIARIA

ATTIVO (euro)	31 dicembre 2013	31 dicembre 2014
Attività immateriali a vita indefinita	-	-
Altre immobilizzazioni immateriali	-	-
Immobilizzazioni immateriali	-	-
Immobilizzazioni materiali	914.950	831.512
Altre partecipazioni	-	50.000
Crediti non correnti	44.905	201.074
Attività per imposte anticipate	3.273.962	2.709.762
ATTIVITÀ NON CORRENTI	**4.233.817**	**3.792.348**
Rimanenze	-	-
Crediti commerciali	171.448.432	161.508.500
Titoli e altre attività finanziarie	-	74.561
Crediti tributari	3.290.512	2.692.600
Altri crediti	2.468.984	2.925.938
Disponibilità liquide	4.468.430	6.683.360
ATTIVITÀ CORRENTI	**181.676.358**	**173.884.959**
TOTALE ATTIVO	**185.910.175**	**177.677.306**

PASSIVO (euro)	31 dicembre 2013	31 dicembre 2014
Capitale sociale	15.000.000	15.000.000
Riserve	9.597.648	8.277.586
Utili (perdite) a nuovo	(8.533.647)	(8.224.571)
Utile (perdita) d'esercizio	(2.634.307)	(2.444.708)
PATRIMONIO NETTO	**13.429.694**	**12.608.307**
Debiti finanziari	-	-
Fondi per rischi ed oneri	1.325.000	1.212.000
TFR e altri fondi per il personale	4.305.415	4.613.852
Passività per imposte differite	151.794	87.018
PASSIVITÀ NON CORRENTI	**5.782.209**	**5.912.870**
Debiti finanziari	36.357.920	33.484.883
Fondi per rischi ed oneri	2.903.663	1.986.726
Debiti commerciali	119.697.733	114.230.487
Debiti tributari	1.510.619	1.689.021
Altri debiti	6.228.337	7.765.012
PASSIVITÀ CORRENTI	**166.698.272**	**159.156.129**
TOTALE PASSIVITÀ	**172.480.481**	**165.068.999**
TOTALE PASSIVITÀ E PATRIMONIO NETTO	**185.910.175**	**177.677.306**

CONTO ECONOMICO COMPLESSIVO

(euro)	Anno 2013	Anno 2014
Ricavi	400.301.321	371.994.076
Altri proventi operativi	1.185.160	1.017.465
Costi per acquisti	(159.667)	(114.173)
Costi per servizi	(377.414.148)	(348.978.916)
Costi per il personale	(24.124.976)	(24.343.142)
Altri oneri operativi	(2.153.213)	(1.723.163)
Ammortamenti e svalutazioni	(101.221)	(89.439)
Risultato operativo	**(2.466.744)**	**(2.237.292)**
Proventi/(Oneri) finanziari netti	(614.664)	(765.801)
Risultato ante imposte	**(3.081.408)**	**(3.003.093)**
Imposte	447.101	558.385
RISULTATO NETTO	**(2.634.307)**	**(2.444.708)**
Altre componenti del conto economico complessivo	180.220	(376.680)
TOTALE CONTO ECONOMICO COMPLESSIVO	**(2.454.087)**	**(2.821.388)**

ELENCO DELLE TESTATE STAMPA IN ESCLUSIVA ALLA DATA DELLA PRESENTE PUBBLICAZIONE

Gruppo Editoriale l'Espresso SpA	LA REPUBBLICA
	IL LUNEDÌ DI REPUBBLICA
	AFFARI & FINANZA
	D LA REPUBBLICA DELLE DONNE
	IL VENERDÌ DI REPUBBLICA
	LA REPUBBLICA TUTTO MILANO
	LA REPUBBLICA TROVA ROMA
	NATIONAL GEOGRAPHIC ITALIANO
	L'ESPRESSO
	LE GUIDE DE L'ESPRESSO
Le Scienze SpA	LE SCIENZE
	MENTE & CERVELLO
Elemedia SpA	FANTACALCIO
	LE GUIDE DEL FANTACALCIO
	CAPITAL MUSIC TIME
	DEE
	PIANETA M2O
P.R.S. Srl	OK SALUTE
Unibeta Srl	IN SELLA
Unimedia Srl	AL VOLANTE
N.M.E. New Media Enterprise Srl	METRO

Finegil Editoriale SpA	IL CENTRO
	IL MATTINO DI PADOVA
	IL MATTINO DI PADOVA-AFFARI IMMOBILIARI
	LA TRIBUNA DI TREVISO
	LA NUOVA VENEZIA E MESTRE
	IL TIRRENO
	GAZZETTA DI MANTOVA
	NUOVA GAZZETTA DI MODENA
	GAZZETTA DI REGGIO
	LA NUOVA FERRARA
	LA PROVINCIA PAVESE
	LA SENTINELLA DEL CANAVESE
	LA CITTÀ-QUOTIDIANO DI SALERNO E PROVINCIA
	MESSAGGERO VENETO
	MESSAGGERO DEL LUNEDÌ
	IL PICCOLO
	IL PICCOLO DEL LUNEDÌ
	CORRIERE DELLE ALPI
	LA NUOVA SARDEGNA
Seta SpA	ALTO ADIGE-TRENTINO
Swan Group Srl	SPIRITO diVINO
	ARBITER

TIM.IT
LET'S GO!

FISSO MOBILE SMARTLIFE

TELECOMITALIA.IT E TIM.IT
ORA IN UN UNICO SITO.

Il primo passo verso un futuro più semplice e ricco di opportunità.

IL FUTURO FIRMATO
TELECOM ITALIA.

TIM